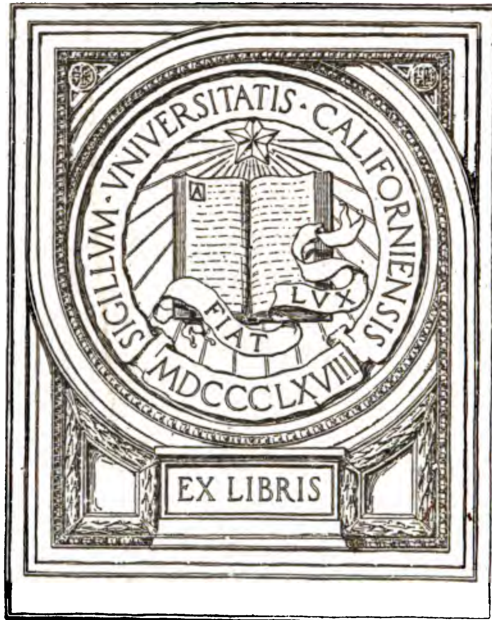


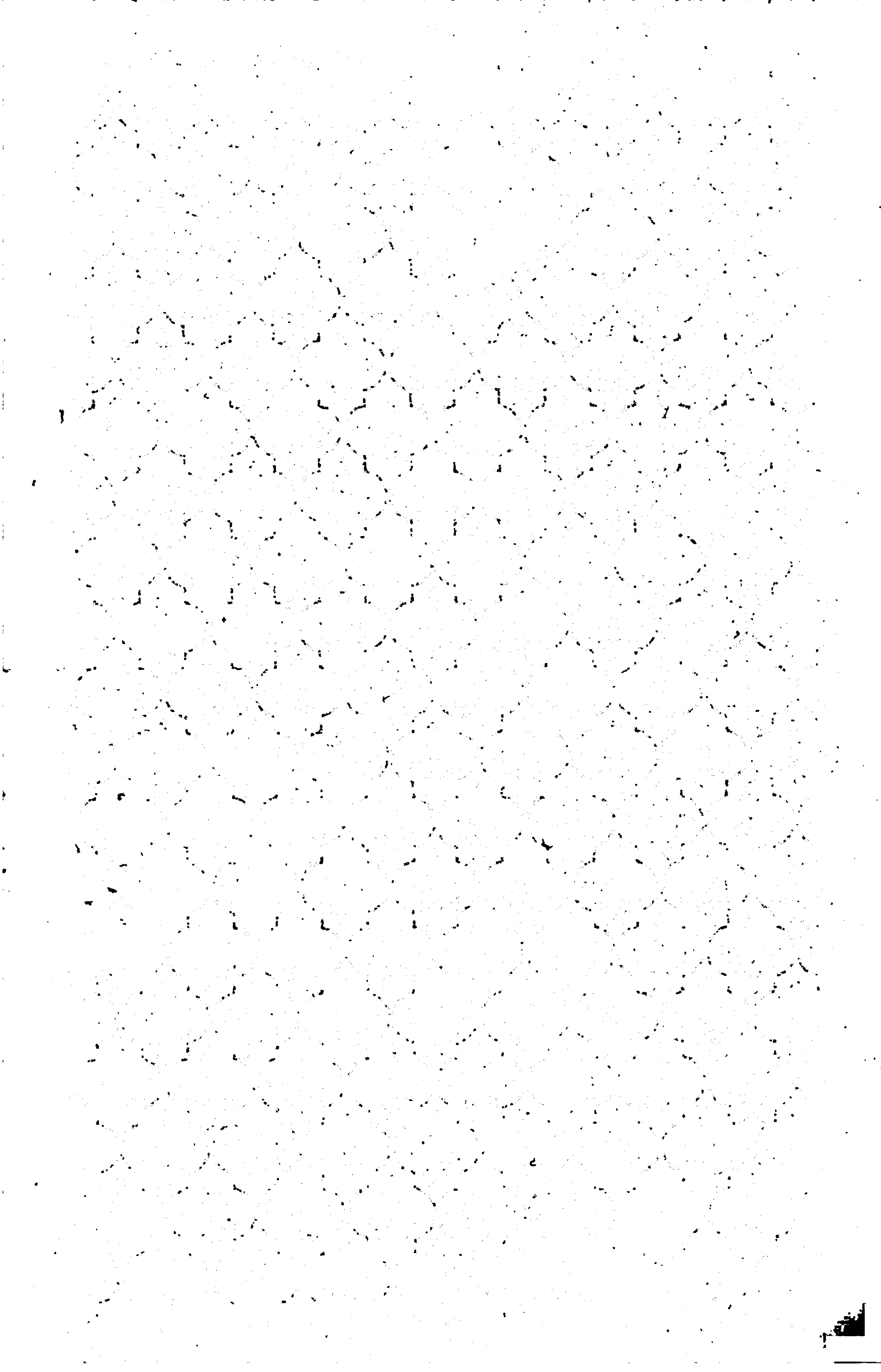
Dr. J. Seyffart,

Kesselhaus- und Kalkofen-Kontrolle.

II. vermehrte Auflage.

Schallehn & Wollbrück
Magdeburg - Wien.


SIGILLVM · VNIVERSITATIS · CALIFORNIENSIS
LVX
FIAT
MDCCCLXVIII
EX LIBRIS



Kesselhaus- und Kalkofen-Kontrolle

auf Grund

gasometrischer, kalorimetrischer etc.

Untersuchungen.

Für Ingenieure, Techniker und Chemiker, sowie für technische Lehranstalten.

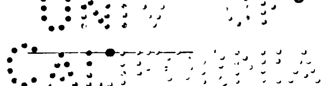
—— o Mit 30 Abbildungen. o ——

Von

Dr. J. Seyffart.

Mit einem Vorwort von Professor Dr. Walther Hempel.

Zweite bedeutend vermehrte Auflage.



Magdeburg und Wien

SCHALLEHN & WOLLBRÜCK.

1904.

Dem Andenken

seines im Amte

in aufopfernder Pflichttreue verstorbenen

teueren Zwillingsbruders

Paul Alexander Seyffart,

weiland **Direktor der Zuckerfabrik Caucato bei Pisco** in Peru

in inniger Liebe

gewidmet.



Vorwort.

Es liegt in der Natur der Sache, dass niemand die Brauchbarkeit einer Methode so gut beurteilen kann, wie der, welcher sie täglich übt. Es ergibt sich so von selbst, dass in der Handhabung von Apparaten eine Gewandtheit gewonnen wird, welche die erreichbare Genauigkeit in hohem Masse vermehrt. Ich begrüsse es darum mit besonderer Freude, dass Herr Dr. J. Seyffart es unternommen hat, aus meinen gasanalytischen Methoden die herauszuwählen, welche für die Zuckerfabrikation und für die Feuerungs-Techniker von Bedeutung sind.

Die Beschreibung ist in allen Punkten durchaus korrekt und durch eine Reihe von praktischen Vorschlägen und Erfahrungen vermehrt, sodass ich überzeugt bin, dass dieselbe den Angestellten in der Zuckerindustrie und jedem Feuerungs-Techniker sehr willkommen sein wird.

DRESDEN, am 6. August 1897.

Dr. Walther Hempel.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Die erste Auflage ist wider Erwarten in einem Jahre vergriffen gewesen. Wenn ich bis zur zweiten Auflage fast vier Jahre verstreichen liess, so liegt dies einmal daran, dass ich glaubte, der Bedarf werde fürs erste für längere Zeit gedeckt sein, und zweitens wollte ich noch verschiedene Neuerungen auf dem Gebiete des Buches abwarten, die im Werden waren und noch der praktischen Prüfung entbehrten.

Schliesslich sind es geschäftliche und persönliche Gründe, bezw. Mangel an Zeit und an Wohlsein gewesen, welche die weitere Verzögerung verschuldeten.

Hier ist nun das in jeder Beziehung reichlich vermehrte und hoffentlich auch verbesserte Werkchen, an dessen zweiter Auflage mein Assistent, Herr Dr. Strauss, ganz wesentlich mitgeholfen hat, wofür ich ihm auch an dieser Stelle meinen herzlichen Dank sage! Von ihm sind insonderheit die chemischen und kalorimetrischen Untersuchungen im neuen Kapitel X über Kalkofen-Kontrolle durchgeführt worden.

Das gleichfalls neue Kapitel „Der Schornstein und seine Wechselwirkung mit der Feuerungsanlage“ ist die Folge einer Kritik der ersten Auflage und dürfte für Viele willkommen sein; es schliesst sich in den hauptsächlichsten Teilen dem Werke von Prof. G. Lang: „Der Schornsteinbau“ an.

Soviel als möglich habe ich versucht, allen wohlgemeinten kritischen Ratschlägen gerecht zu werden, und spreche ich gern für diese meinen verbindlichsten Dank aus.

Endlich möchte ich noch der Verlagshandlung für die schöne Ausstattung des Werkes meinen besten Dank sagen.

So will ich nur noch den Wunsch aussprechen, dass auch die zweite Auflage sowohl unter den alten Freunden des Buches, als auch unter neu hinzukommenden, eine freundliche Aufnahme finden und das bieten möge, was auf dem betretenen Gebiete als eine berechtigte Erwartung angesprochen werden könnte.

Weisser Hirsch b./Dresden, im November 1903.
(früher Zuckerfabrik Mühlberg a./Elbe.)

Dr. J. Seyffart.

Inhaltverzeichnis.



Einleitung.

Infolge Vorführung der Hempelschen Apparate in einigen Versammlungen von Technikern und Chemikern der Zuckerindustrie ist der Verfasser des vorliegenden Werkchens s. Zt. mehrfach angegangen worden, die für die Laboratorien von Zuckerfabriken in Betracht kommenden Apparate aus dem vom Mechaniker Leuner in Dresden eingesandten Verzeichnis auszuwählen, sowie auch sonst noch Auskunft über deren besondere Anwendung zu erteilen.

Die ursprüngliche Absicht bei Abfassung des Werkchens war daher auf Erfüllung dieser Wünsche gerichtet und galt im Wesentlichen nur der Beschreibung der in Zuckerfabriken vielfach benutzten Hempelschen Apparate und deren Handhabung, welch letztere ich zuweilen nicht ganz richtig ausführen sah oder womit man in einzelnen Fällen sich nicht zurecht finden konnte.

Wie es nun aber zumeist geht, wenn man erst eine Sache ernstlich in Angriff nimmt: es erweitert sich dabei sehr bald das Gesichtsfeld und man glaubt noch Dies und Jenes mit hereinnehmen zu müssen. So ist für die erste Auflage des Büchleins aus einer eingehenden Beschreibung der Hempelschen Apparate und ihrer Handhabung ein Werk geworden, das überhaupt zum wissenschaftlichen Verständnis und zur praktischen Kontrolle eines Kesselfeuerungs- wie eines Kalkofen-Betriebes dienen sollte.

Die unvermutet günstige Aufnahme des Buches, sowie vor Allem die daran geübte mehrfache sehr willkommene Kritik, welche in einem Falle die nur flüchtig angedeutete Wirkung der Bedeutung der Zugmessung als einen Mangel bezeichnete und dabei auf die Wichtigkeit einer richtigen Abmessung der Feuerzüge und der Schornsteine hinwies, haben Alles in Allem die bereits im zweiten Vorwort beschriebene fernere Erweiterung des Werkchens veranlasst.

Das vorliegende Buch in zweiter Auflage enthält, der ursprünglichen Absicht entsprechend, vorerst die genaue Beschreibung aller Einzelheiten zur Ausführung der Rauchgas- und der Saturationsgas-Analyse nach *Hempels* Methode, besonders auch in Anlehnung an den Zuckerfabrikations-Betrieb; sodass es auch dem wenig Geübten möglich sein wird, hiernach genau und sicher zu arbeiten. Aus letzterem Grunde musste die Beschreibung der Handhabung u. s. w. in vielen Stücken noch ausführlicher gestaltet werden, als es in dem für wissenschaftlich geübte Chemiker bestimmten Lehrbuch Hempels selbstverständlich nur der Fall zu sein braucht. Bezüglich dieser, Manchem vielleicht überflüssig erscheinenden Ausführlichkeit bitte ich, freundliche Nachsicht üben zu wollen.

Dass, nachdem das Buch zu einer „Kesselhaus- und Kalkofen-Kontrolle“ erweitert worden ist und die Beschreibung mehrerer damit im Zusammenhang stehender Apparate darin Aufnahme gefunden hat, nicht auch alle übrigen für den gleichen Zweck konstruierten und im Gebrauch befindlichen Gasuntersuchungsapparate beschrieben worden sind, — wie z. B. ausser den Apparaten von Hempel auch der *Orsat*sche Apparat viel benutzt wird — hat darin seinen Grund, dass nach Erfahrung des Verfassers die *Hempel*sche Methode von allen bekannten Methoden für technische Gasuntersuchungen unzweifelhaft diejenige ist, welche bei grosser Einfachheit der benutzten Apparate die grösste Genauigkeit bietet.

Der gesamte benötigte Apparat, soweit er für den zuckertechnischen Betrieb oder für den Betrieb von Kesselfeuerungen allein in Betracht kommt, besteht neben der Gasmessbürette im wesentlichen aus mehreren sehr einfachen Absorptionsgefässen, von denen immer nur eines derselben je nach dem Gasbestandteil, den man bestimmen will, in Verbindung mit der Gasbürette in Benutzung gezogen wird. Dies ist der wesentliche Vorzug vor den anderen technischen Gasuntersuchungsapparaten, bei denen die verschiedenen Absorptionsgefässe zusammenhängend konstruiert sind und wobei unvermeidlich eine grössere Anzahl von Glashähnen oder Gummischlauchstücken mit Quetschhähnen zur Verwendung kommt, wodurch einesteils die Genauigkeit Einbusse erleidet, andernteils der kostspielige Gesamtapparat leicht der Gefahr des Zerbrechens ausgesetzt ist.

Den kontinuierlichen Gasuntersuchungsapparat von Ados, der allerdings ein ziemlich komplizierter und teurer ist, glaubte indess Verfasser, wegen der sehr wichtigen Kontinuierlichkeit der Gasuntersuchung bei selbsttätiger Aufzeichnung des jeweiligen Kohlensäuregehaltes doch in das Buch mit aufnehmen zu sollen.

Die spezielle Ausführungsweise der Gasuntersuchung mittelst der Apparate von Dr. Hempel ist zwar bereits in seinem bekannten, nunmehr in 3. Auflage erschienenen Lehrbuche „Gasanalytische Methoden“ (Braunschweig, Fr. Vieweg & Sohn), in knapper und anschaulicher Weise beschrieben, und zwar für alle in der Technik in Betracht kommenden Gase mit Angabe der Fehlergrenzen und zahlreicher Beleganalysen. Für den Leiter irgend eines Dampfkesselbetriebes oder für den Chemiker oder Betriebsbeamten einer Zuckerfabrik ist indess das Buch zur schnellen Orientierung über die zur Kontrolle benötigten Untersuchungen der Rauchgase oder des Saturationsgases etwas zu umfangreich; auch liegen die Besonderheiten der Fälle des

Kesselfeuerungs- und noch mehr des Zuckerfabrikationsbetriebes natürlich ausserhalb des Zweckes desselben. So dürfte dem Feuerungs-Techniker und dem Chemiker das vorliegende Buch neben dem Besitz des Hempelschen Werkes nicht unwert sein, umsomehr, da es ausser der *kalorimetrischen* Heizwertbestimmung nun auch die *chemische Kontrolle des Kalkofenbetriebes* sowie die *Beziehungen der Dimensionsverhältnisse von Schornstein und Feuerungsanlage zu einander* ausführlich behandelt.

Alle hier beschriebenen Methoden, ebenso die mir irgendwie zugänglich gewesenen Apparate sind von mir selbst geprüft worden oder ich konnte an anderer Stelle von deren Vorzügen oder Mängeln mich selbst überzeugen, sodass den gemachten Angaben schon einiges Vertrauen entgegengebracht werden darf.

Herr Professor Dr. Hempel hatte die grosse Liebenswürdigkeit, das eingangs wiedergegebene Vorwort zu verfassen, für welches ich ihm auch an dieser Stelle herzlichen Dank sage.



I.

Das Probenehmen und Abmessen des Gasgemisches.

Die für den Betrieb von Kesselfeuerungen, sowie die im Zuckerfabrikations-Betriebe wesentlich in Betracht kommenden Gasuntersuchungen sind diejenigen der Rauch- oder Kesselgase und die des Saturationsgases, d. h. der Abgase aus dem Kalkofen.

Wenn das zu untersuchende Gas unter Druck steht, wie es im Druckstrang der Saturationsgasleitung von Zuckerfabriken der Fall ist, ist *die Gasentnahme* einfach; das Gas kann dann ohne weiteres in den Gasuntersuchungsapparat überführt werden, am bequemsten natürlich, wenn eine Zweigleitung nach dem Laboratorium vorhanden ist. Muss mangels einer solchen das Gas ausserhalb desselben, in der Fabrik, entnommen werden, so fülle man daselbst das Gas unmittelbar in die Gasbürette, benutze aber keinen Gummisack zum Füllen und zum Transport nach dem Laboratorium, da vulkanisierter Gummi gleich einer Flüssigkeit die Gasbestandteile des Gasgemisches verschieden stark absorbiert und bei verändertem Druck wieder abgibt. Dieserhalb sind auch lange Gummischlauchleitungen möglichst zu vermeiden.

Steht das fragliche Gasgemisch unter geringerem Druck als dem der Atmosphäre, wie es z. B. bei den Rauchgasen der Fall ist und noch mehr im Saugstrang vom Kalkofen nach der Kohlensäurepumpe, so ist die Anwendung eines Aspirators nötig. Die unter diesen Umständen zu bewirkende Gasentnahme für Rauchgase und für Saturationsgas findet sich in den Abschnitten VIII, IX und XI beschrieben.

Zur *Abfüllung und Abmessung des Gases* wird für die Hempelsche Gasuntersuchungs-Methode der umstehend abgebildete Apparat, *eine einfache Gasbürette* benutzt. Derselbe besteht aus zwei 120 ctm langen Stand-Glasröhren:

dem einfachen Rohr A und dem 100 ccm fassenden, in $^1/_5$ ccm geteilten, auf- und abwärts nummerierten Rohr B, ein jedes in einen schweren eisernen Fuss eingekittet, aus dessen Rohrhülse seitlich das zu einer Spitze ausgezogene Rohrende hervorragt. Diese beiden Rohrenden sind durch einen langen Gummischlauch S miteinander verbunden.

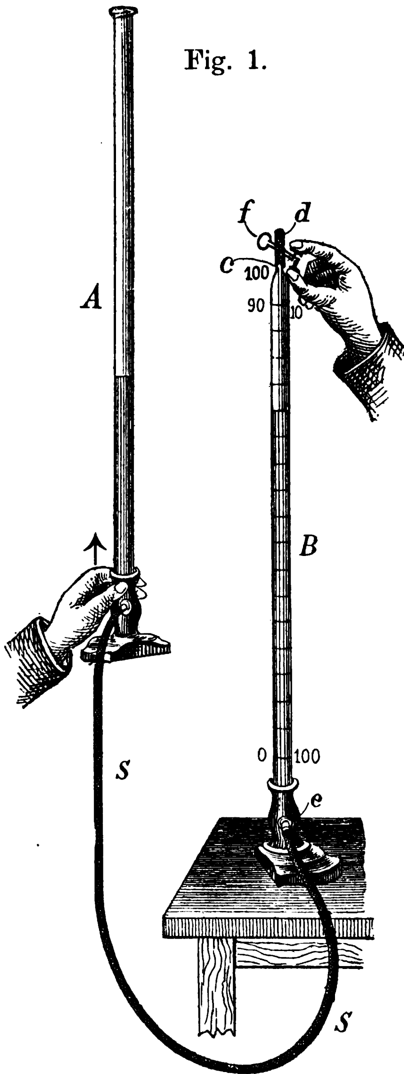


Fig. 1.

Das *Messrohr B* oder die *eigentliche Bürette* endigt oben in eine starkwandige, knapp 1 mm weite Röhrenspitze c, die mit bestem etwa $2^1/_2$ mm weiten dicken Gummischlauch d und Mohr'schem Quetschhahn f unmittelbar hinter der Röhrenspitze c luftdicht abgeschlossen wird. Der untere Nullpunkt oder Hundertpunkt liegt etwa 2 ctm über dem eisernen Fuss, wogegen der obere Null- oder Hundertpunkt in der Röhrenspitze liegt und als eingestellt gilt, wenn die Flüssigkeit beim Ansteigen fast das Gummischlauchstück d erreicht hat.

Kleine Abweichungen hiervon, wie auch ein nicht absolut knapper Sitz des Quetschhahnes f dicht über der oberen Glasspitze c, bewirken zwar nur sehr geringe Volumdifferenzen, die noch nicht Zehntel - Kubikcentimeter betragen; doch soll man sich befleissigen, den Quetschhahn immer möglichst dicht über der Glasspitze aufzusetzen.

In das Rohr A, welches *Niveauröhre* oder *Einstellröhre* benannt wird, ist vorerst destilliertes Wasser einzufüllen, bis beide Röhren gut zur Hälfte mit Wasser gefüllt sind; sodann wird durch Heben und Senken der Röhren bei geöffnetem Quetschhahn alle Luft aus dem Gummischlauch beseitigt, nunmehr die Einstellröhre A bei noch offenem Quetschhahn um soviel höher gehalten, dass sich das Messrohr B völlig anfüllt, darauf der Quetschhahn f geschlossen und im Einstellrohr der Wasserstand auf etwa 2—3 ctm Höhe über der Rohrhülse des eisernen Fusses bemessen.

Das *Füllen der Messröhre mit dem zu untersuchenden Gas* geschieht derart, dass man dasselbe mit Druck in die wassergefüllte Messröhre einströmen lässt,. beim Saturationsgas am einfachsten unter Benutzung des Druckes der Kohlensäurepumpe, bei den mittelst Aspirator aus dem Fuchs oder aus den Kesselzügen entnommenen Kesselfeuerungsgasen durch Höherstellen der Saugflasche des Aspirators (siehe Abschn. VIII).

Der Gaszuleitungschlauch zur Messröhre B ist vorn mit einer starkwandigen schlanken Glasspitze zu versehen, deren Ende annähernd die Stärke der Rohrspitze c der Messröhre B besitzt, um bei Einführung derselben in das Gummischlauchstück d dieses nicht unnötig auszuweiten und so auch bei öfterer Benutzung den luftdichten Verschluss zu erhalten.

Vor Einführung der genannten Glasspitze wird das Messrohr B bis zum überstehenden Tropfen über dem Gummischlauch d durch einfaches Anheben des Einstellrohres A mit Wasser gefüllt, der Quetschhahn f geschlossen und die Niveauröhre A so hoch gestellt, dass ihr Wasserstand jedenfalls höher als die Öffnung von d liegt; dies wird am einfachsten durch Aufstellen der Röhre B auf den Fussboden erreicht, während A auf dem Arbeitstisch stehen bleibt. Indem man nun vor Einsenken der Glasspitze in den Gummischlauch d den Leitungshahn für die Saturationsgasleitung öffnet und das Gasgemisch frei ausströmen lässt, — selbstverständlich ist der Rohrstrang zur Beseitigung alten Gases einige Zeit offen zu lassen — um dann während des Ausströmens die Verbindung mit dem Schlauchstück d herzustellen, wird jedes Miteindringen von atmosphärischer Luft vermieden. Die Niveauröhre ist hierbei anfangs deshalb hochzustellen, damit sie nicht während der

Gaszuleitung saugend wirken kann; dies würde andernfalls geschehen, weil ihr Wasserspiegel bei gleicher Standhöhe der Röhren anfänglich viel tiefer liegt als der der wassergefüllten Messröhre B. Sobald die letztere ungefähr zur Hälfte mit Gas gefüllt ist, wird die Niveauröhre auf gleiche Unterlage mit der Messröhre gestellt, um zu starken Gegendruck zu vermeiden.

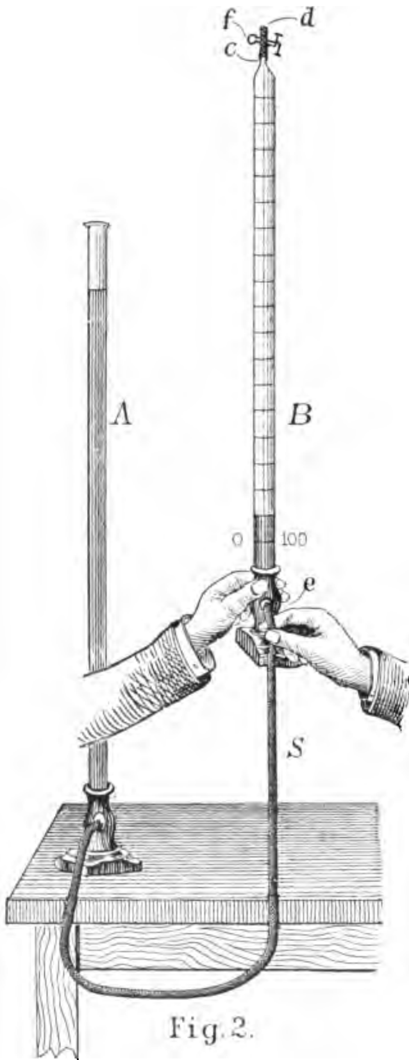


Fig. 2.

Man leitet so lange Gas ein, bis der Wasserspiegel unter dem Hundertpunkt steht, etwa bis zur Rohrhülse des eisernen Fusses, und schliesst hiernach den Quetschhahn f. Zur sicheren Handhabung der Gaszuströmung kann man hinter der Glasspitze auf dem Zuleitungschlauch noch einen zweiten Quetschhahn, der eine Regulierschraube trägt, aufsetzen.

Die genaue Abmessung des Volums von 100 ccm Gas beim herrschenden Atmosphärendruck geschieht, indem man durch Heben des Einstellrohres A, dasselbe mit der linken Hand erfassend, vorerst das Gas bis über den Hundertpunkt zusammenpresst, sodann mit dem Daumen und Zeigefinger der rechten Hand den Verbindungschlauch S des Messrohres dicht am unteren Rohrende e durch Abquetschen schliesst — siehe Fig. 2 —, das Einstellrohr nunmehr auf den Tisch stellt und darauf, das

Messrohr B mit der linken Hand hebend, durch schwaches Öffnen des Verbindungschlauches, beziehentlich Lockern der denselben schliessenden Finger, ganz allmählich den Meniskus genau bis zum Hundertpunkt sinken lässt. Ist der Hundertpunkt erreicht, so quetscht man den Verbindungschlauch wieder fest zu, stellt in diesem Zustande das Messrohr auf den Arbeitstisch und öffnet mit der linken Hand den Quetschhahn d der Bürette während 1 bis 2 Sekunden, wobei soviel Gas aus derselben unter hörbarem Geräusch entweicht, als dem Drucküberschuss des noch eingepressten Gases gegenüber der äusseren Atmosphäre entspricht.



Fig. 3.

Die Bürette enthält nunmehr genau 100 ccm Gas, wovon man sich durch Ablesen bei gleichem Wassersäulenspiegel der beiden Röhren stets überzeugt (siehe Fig. 3).

Es ist hierbei noch zu beachten, dass man zur Erreichung grösster Genauigkeit vor dem Ablesen das völlige Abfliessen des an der Glaswandung haftenden Wassers abwarten muss, was bei 100 ccm Gasvolum über 1 Minute währt; sodann dass man das Messrohr B *niemals am Glasrohr, sondern nur am eisernen Fuss erfassen* darf, um eine Erwärmung durch die Hand auszuschliessen, und ferner, dass die vom Mechaniker Leuner gelieferten Messrohre auf den *oberen* Meniskus justiert sind.

Ausserdem ist bei der erstmaligen Benutzung des Apparates das destil-

lierte Wasser des Messrohres einige Zeit mit dem Saturationsgas zu schütteln, um das Wasser bei der herrschenden Zimmertemperatur mit dem Gas, beziehentlich der Kohlensäure desselben, zu sättigen und dann erst das Volum von 100 ccm frischem Gas abzumessen. Bei weiteren täglichen Untersuchungen erhält sich der Kohlensäuregehalt des Wassers auf annähernd gleicher Höhe, sodass merkliche Fehlerquellen infolge Absorption der Kohlensäure nicht entstehen.

Ist mangels einer Saturationsgasleitung zum Laboratorium die Füllung des Messrohres an einem Orte innerhalb der Fabrik vorzunehmen, so lässt man das Messrohr vor Einstellung des Hundertpunktes einige Zeit im Laboratorium zum Temperaturausgleich ruhig stehen. Auch darf der Apparat nicht direktem abkühlenden Zug oder strahlender Wärme ausgesetzt werden; man vermeide also möglichst die Nähe der Tür oder grosser Brenner, das Öffnen der Fenster u. s. w. während der Gasanalyse.

Nach einiger Übung lässt sich die sehr einfache, nur nach der Beschreibung etwas umständlich erscheinende Einfüllung und Abmessung des Gases in 2 Minuten bewerkstelligen.

II.

Allgemeines über die Absorptionsmittel und die Absorptionspipetten.

Die Art der ersteren sowie teilweise auch ihre Herstellung wird bei der Besprechung der Gase und Pipetten, für welche die Absorptionsmittel in Benutzung kommen, mitgeteilt werden.

Eine den *Absorptionsmitteln* allgemein zukommende Eigenschaft ist die, dass sie entsprechend ihrem wiederholten Gebrauch allmählich in ihrem Werte für Absorption der Gase zurückgehen, sodass die Fähigkeit, jene aufzunehmen, mehr und mehr sinkt und schliesslich natürlich ganz aufhört. Es kommt aber in Betreff der Brauchbarkeit eines Absorptionsmittels für die Gasanalyse nicht darauf allein an, dass überhaupt Gase *noch* absorbiert werden, sondern diese Absorption

muss auch *genügend schnell* vor sich gehen, sodass innerhalb der kurzen Zeit von wenigen Minuten, in welcher die Absorption in den Pipetten vollzogen sein soll, die Vollständigkeit der Absorption völlig gesichert erscheint. Der fragliche Wert eines Absorptionsmittels für gasanalytische Zwecke liegt also nicht darin, welches Gasvolumen dasselbe bis zu seiner annähernden Sättigung zu absorbieren vermag, sondern er liegt wesentlich in dem Vermögen, innerhalb einer gewissen, kurz bemessenen Zeit ein möglichst grosses Gasvolumen leicht aufzunehmen, ohne dass dieses Vermögen bei wiederholten Versuchen irgendwie merklich abnimmt.

Auf Grund dieser Erwägungen hat Prof. Hempel eine besondere Wertbemessung der verschiedenen Reagenzien aufgestellt, indem er durch exakte Versuche diejenige Anzahl Kubikcentimeter Gas ermittelte, die bei 1 ccm Reagenz beim Schütteln noch so schnell absorbiert wurden, dass im Lauf einer Minute mindestens mehrere Kubikcentimeter verschwanden. Den vierten Teil dieser Anzahl Kubikcentimeter bezeichnet Hempel mit dem Namen des *Wirkungswertes* oder *zulässigen Absorptionswertes* eines Reagenzes, indem er hierbei von der Annahme ausgeht, dass man das Reagenz nur zum vierten Teil der ermittelten Fähigkeit schneller Gasaufnahme benutzen darf, um die unbedingte Sicherheit der völligen Absorption zu behalten.[1])

Beispielsweise ist für $33^1/_3$ prozentige Ätzkalilösung, welche zur Absorption der Kohlensäure benutzt wird, der zulässige Absorptionswert weiterhin mit 40 angegeben; 1 ccm solcher Kalilauge vermag also nicht 40, sondern 160 ccm Kohlensäure zu absorbieren, ehe die Schnelligkeit der Absorption unter dasjenige Mass sinkt, welches bei der Wertbestimmung des Reagenzes angewendet wurde.

Die in Zuckerfabriken am häufigsten vorkommende Gasuntersuchung ist die des Saturationsgases auf Kohlensäure, weshalb von den Reagenzien die Kalilauge am meisten in Benutzung gezogen wird. Rechnet man täglich etwa 3 Bestimmungen mit 25 % Kohlensäure, so würden in einer Kampagne von 100 Tagen annähernd 7500 ccm, bei öfterer Kontrolle

---

[1]) Siehe Hempel, Gasanalyt. Methoden. III. Aufl. S. 129.

vielleicht 10 Liter Kohlensäure zu absorbieren sein. Die Kohlensäurepipette fasst etwa 240 ccm Kalilauge und ist bei dem Wirkungswerte von 40 imstande, 9600 ccm Kohlensäure zu absorbieren, ehe die erforderliche Sicherheit der völligen Absorption bei der Gasanalyse abnimmt. Eine Füllung dieser Pipette reicht also zum Gebrauch für eine Kampagne gerade aus.

Empfehlenswert ist es, sowohl hier als auch bei den übrigen Pipetten mit flüssigen Reagenzien, die Summe der im Laufe der Untersuchungen absorbierten Gasmengen stetig zu notieren, damit man über den jeweiligen Sättigungsgrad der verschiedenen Absorptionslösungen sich auf dem Laufenden erhält, wodurch früher oder später eintretende, von zu stark verbrauchten Lösungen herrührende Fehler vermieden werden. Besonders empfiehlt sich dies für Lösungen mit niedrigem Absorptionswert.

Die *Absorptionspipetten*, welche weiterhin einzeln und ausführlich beschrieben sind, werden von Leuner entweder mit hölzernem oder mit eisernem Gestell geliefert. Die letzteren Gestelle, und zwar diejenigen, deren Fuss von einem geschlossenen Rahmen gebildet wird, sind vorzuziehen, da sie stabiler sind, sich nicht wie die hölzernen verziehen, den Flüssigkeitstand in den Pipetten leichter erkennen lassen und auch die Säuberung der letzteren leichter ausgeführt werden kann. Dagegen sind die in jüngster Zeit gelieferten Eisengestelle mit zwei Einzelfüssen nicht zu empfehlen; sie stehen nicht sehr fest und sind auch noch in einer anderen Hinsicht weniger vorteilhaft, worauf später zurückgekommen wird. Man bestelle sich daher die Pipettengestelle mit Rahmenfuss, wie in Figur 5 Seite 15 abgebildet ist.

Da zur Beurteilung der normalen Zusammensetzung sowohl der Rauchgase als des Saturationsgases ihr Gehalt an Kohlensäure zumeist ausschlaggebend ist, *beginnt man* beim Untersuchungsgang *mit der Bestimmung der Kohlensäure.*

Der nächstwichtige Bestandteil im fraglichen Gasgemisch ist der *Sauerstoff*, von welchem im Saturationsgas nicht mehr als höchstens 2 % vorhanden sein dürfen, damit nicht der Kohlensäuregehalt durch den Sauerstoff und durch die denselben begleitende vierfache Menge Stickstoff unnötiger Weise erniedrigt werde. Der vorhandene Sauerstoffgehalt rührt ja

nur von einem Überschuss an Luftzufuhr her und entspricht also stets einem 5 fachen Gehalt an atmosphärischer Luft. Für die Rauchgase ist die erlaubte Grenze des Sauerstoffgehaltes höher, bis 4 % und selbst 6 %, weil ohne einen gewissen Überschuss an Luft die Verbrennungstemperatur nicht genügend hoch steigt, sodass in diesem Falle unverbrannte Gase, besonders die schwerer verbrennlichen Kohlenwasserstoffe, mit in den Schornstein gehen können. Den Sauerstoffgehalt bestimmt man somit als zweitwichtigsten Bestandteil *nach* der Kohlensäure.

Bei Abwesenheit oder auch schon bei sehr geringem Gehalt an Sauerstoff in den benannten Gasgemischen kommt ein Gehalt an *Kohlenoxyd* in Frage, welches man also nunmehr und stets erst *nach* der Sauerstoffabsorption bestimmt, letzteres aus dem Grunde, weil das Absorptionsmittel für Kohlenoxyd, die Kupferchlorürlösung, auch Sauerstoff absorbiert, das fragliche Gasgemisch also bereits sauerstofffrei sein muss, bevor die Kupferchlorürlösung angewendet werden kann.

Ist Kohlenoxyd vorhanden, so sind zuweilen infolge unvollständiger Verbrennung auch noch *schwere Kohlenwasserstoffe*, wenn auch meist nur in sehr geringen Mengen den Heizgasen, seltener dem Saturationsgas beigemischt. Diese beeinträchtigen sowohl die Sauerstoffbestimmung, wenn dieselbe mit Phosphor ausgeführt wird, als auch die Kohlenoxydbestimmung mit Kupferchlorürlösung; das Nähere hierüber wird bei Beschreibung der Einzelbestimmung der Gase gesagt werden.

Ist ein Gehalt an schweren Kohlenwasserstoffen wahrscheinlich, worauf man aus weissen Dämpfen im Gasgemisch schliessen kann, so entfernt man die ersteren und bestimmt deren Prozentgehalt noch *vor* der Sauerstoffbestimmung, indem man rauchende Schwefelsäure als Absorptionsmittel anwendet.

Entsprechend dem soeben dargelegten Gang der Analyse folgt nunmehr die Beschreibung der verschiedenen Pipetten und deren Handhabung.

III.

Die Kohlensäurepipette.

Diese, eine sogen. *einfache Absorptionspipette,* ist in Fig. 4 mit Holzgestell abgebildet und besteht aus der Sammelkugel F, dem Absorptionscylinder E und einem den Schenkel D bildenden $^1/_2$ mm weiten starkwandigen Kapillarrohr, hinter welchem, um den Stand der Flüssigkeit in

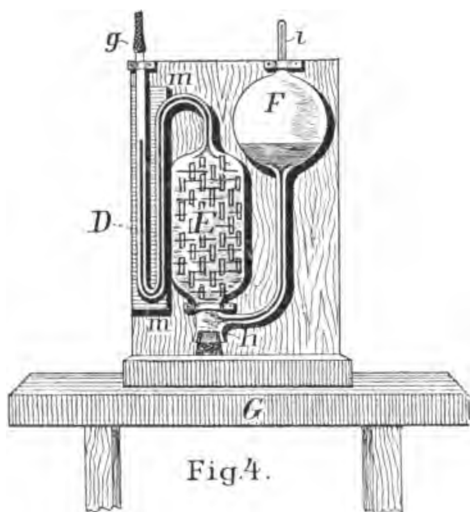


Fig. 4.

der Kapillarröhre leichter sichtbar zu machen, eine weisse Porzellanplatte m befestigt ist. Bei den eisernen Pipettengestellen, bei denen die Pipette (siehe Fig. 5) frei an einem eisernen Rahmen befestigt ist, sodass der Flüssigkeitsfaden im Schenkel D ohne weiteres leicht erkannt wird, fehlt natürlich die Porzellanplatte.

Füllung der Pipette. Um der Flüssigkeit im Absorptionscylinder E eine grössere Oberfläche zu geben, wird derselbe, nachdem man den Apparat auf den Kopf gestellt hat, durch den Hals h hindurch mit Drahtsiebröllchen gefüllt, welche in senkrechter Lage *möglichst dicht neben und übereinander* eingeschichtet werden; darauf verschliesst man den Hals h fest mittelst Gummistopfen und Drahtverband. Als noch besser empfiehlt

Hempel, den Hals h durch eine oben zugeschmolzene, mit einem Gummiring überzogene Glasröhre zu verschliessen. Der Vorteil dabei ist, dass nur ein ganz schmaler Streifen Gummi dem Einfluss des Reagenzes ausgesetzt ist. Ausser dem Draht- oder Schnurenverband dieser Stopfen sichert man das unverrückbare Festsitzen derselben am besten noch durch Unterschieben einer festen Unterlage, die mit dem Pipettengestell fest verbunden wird. Die eisernen Gestelle mit Rahmenfuss sind hierzu besser geeignet als diejenigen mit zwei Einzelfüssen.

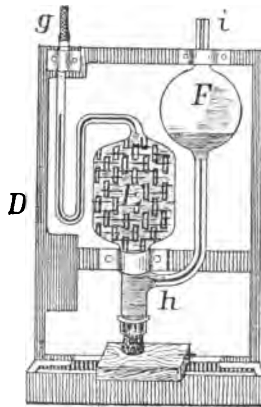


Fig. 5

Die zur Füllung der Pipette gerade ausreichende Menge Kalilauge wird aus 80 g Kalihydrat und 160 g Wasser bereitet und hat einen zulässigen Absorptionswert von 40 ccm. Man kann statt der Kalilauge auch Natronlauge nehmen.

Die Lauge lässt sich mit Hilfe einer gewöhnlichen Saugpipette mit engem Ablassrohr oder mittelst eines Füllröhrchens mit kleinem Trichter leicht durch das weite Rohr i einführen und wird sodann durch schwaches Ansaugen mittelst eines in den Gummischlauch bei g eingesenkten gebogenen Glasrohres bis in den äusseren Schenkel der Kapillare D übergeführt, wonach sie sich mit dem Flüssigkeitspiegel in F in Gleichgewicht setzt. Man tut gut, das freie ziemlich weite Rohrende i der Aussenkugel F mit einem kleinen, senkrecht gekerbten Kork oder Gummistopfen zu verschliessen, damit bei genügendem Zu- oder Austritt der Luft doch ein stärkerer fortwährender Luft-

wechsel zwischen dem Inneren und der äusseren Atmosphäre verhütet wird.

Die *Handhabung der Pipette* zur Absorption der Kohlensäure aus den im Messrohr B befindlichen 100 ccm Gas

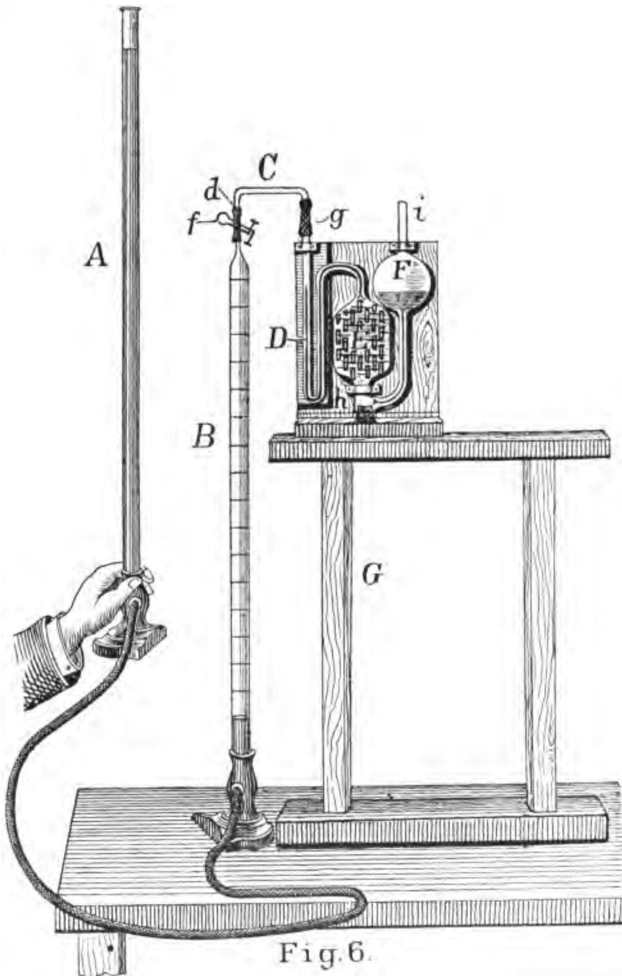


Fig. 6.

ist folgende: Die Pipette wird vorerst noch bei g mit einem kapillaren Schenkelrohr C verbunden, welches fernerhin stets mit der Pipette verbunden bleibt. Hierbei ist zu beachten, dass das verbindende Gummischlauchstück mit Drahtverband

befestigt sein und die Gummischlauchverbindung zuweilen auf Luftdichtheit geprüft werden muss; ausserdem ist es nötig, dass das Rohr C dicht auf dem Rohrende g — Glas an Glas — aufsitzt.

Sodann wird die Pipette auf das Holzbänkchen G, die Gasbürette nebst dem Einstellrohr links daneben auf den Arbeitstisch gestellt und nun der äussere Schenkel von C mit dem Gummischlauch d der Bürette verbunden (siehe Fig. 6). Um hierbei nicht die im Gummischlauchende bis zum Quetschhahnabschluss befindliche geringe Menge Luft mit in die Pipette zu bekommen, ist es nötig, mit dem Daumen und Zeigefinger der linken Hand das Schlauchende von unten nach oben luftleer zu pressen, worauf die Spitze des Glasschenkels C mit der rechten Hand in die Schlauchmündung von d gesteckt und bis zum Quetschhahnverschluss heruntergeschoben wird. Es ist zweckmässig, hierbei die Spitze äusserlich vorher ein wenig anzufeuchten oder einzufetten.

Ist der Gummischlauch d eng und genügend starkwandig — am besten von 6 mm äusserem und 2½ mm innerem Durchmesser —, so ist ein besonderes Umbinden des Schlauchstückes auf der Schenkelspitze C behufs absoluter Luftdichtheit nicht nötig.

Man öffnet nun behutsam den Quetschhahn f mit der hierin zumeist geübteren rechten Hand und lässt anfangs langsam den Flüssigkeitsfaden im Kapillarschenkelrohr D durch den Wasserdruck im Einstellrohr A bis in den Absorptionscylinder E der Kohlensäure-Pipette zurücksteigen, langsam deshalb, damit möglichst wenig Flüssigkeitströpfchen in der Kapillare zurückbleiben; dann hebt man das Einstellrohr mit der linken Hand möglichst hoch, um das Gasgemisch schnell überzudrücken und im Kapillarrohr etwa hängen gebliebene Laugentröpfchen mit fortzureissen. Sobald das Wasser im Messrohr B bis knapp an den Gummischlauch d, also bis an den Nullpunkt gestiegen ist, welches Steigen man zuletzt zur leichteren Beobachtung durch Senken des Einstellrohrs A etwas verlangsamt, wird der Quetschhahn f geschlossen.

Die an den Drahtröllchen hängen bleibende konzentrierte Kalilauge bietet eine so grosse Oberfläche dar, dass auch bei hohem Kohlensäuregehalt des Saturationsgases die Kohlensäure noch während des Überdrückens völlig absorbiert wird.

Man kann daher gleich nach Schliessen des Quetschhahnes f das Einstellrohr soweit senken — am einfachsten stellt man es gleich auf den Fussboden, indem man das obere Ende in der linken Hand behält —, dass durch den Niveau-

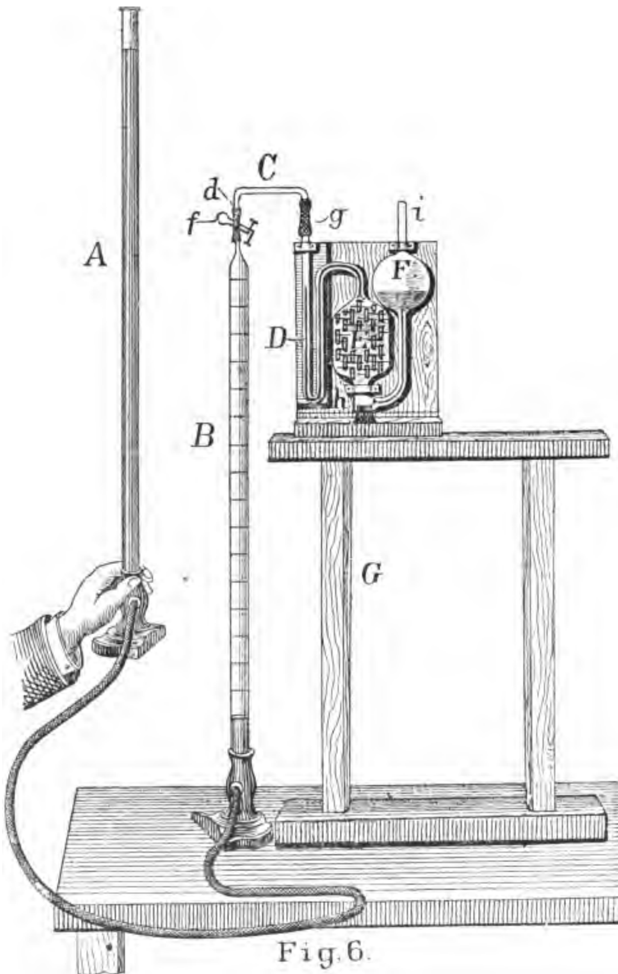


Fig. 6.

unterschied nach Wiederöffnen vom Quetschhahn f der unabsorbiert gebliebene Gasrest aus dem Absorptionscylinder E in das Messrohr zurückgesogen wird, bis der Flüssigkeitsfaden im Kapillarrohr beinahe wieder seinen früheren Stand eingenommen hat; darauf schliesst man den Quetschhahn f.

Auch hierbei ist es der leichteren und sicheren Einstellung halber nötig, die Gasüberführung zuletzt zu verlangsamen, wobei diesmal das Einstellrohr etwas zu heben ist. Man hüte sich besonders, den Flüssigkeitsfaden bis in den Gummischlauch oder gar bis in das Kapillarschenkelrohr C und das Schlauchstück d zu treiben, weil die Lauge den Schlauch stark angreift, ausserdem ein weiterhin gleichmässiges Durchströmen des Gases durch denselben, sobald er derartig feucht geworden ist, ungemein erschwert wird.

Der Stand des Flüssigkeitsfadens im Kapillarschenkelrohr D kann daher lieber 1 ctm zu tief belassen werden, weil der hierdurch bedingte Volumfehler schlimmsten Falles nur einige Hundertstel eines Kubikcentimeters beträgt. Am leichtesten vermeidet man ein zu weites Zurücksaugen der Lösung, wenn man sofort beim Eintritt derselben aus der Kugel in das Kapillarrohr den Quetschhahn f schliesst; in der Regel ist während dieser Vornahme der Flüssigkeitsfaden bereits im vorderen Schenkel angelangt und man kann dann durch behutsames Lockern des Quetschhahnes leicht den gewünschten Flüssigkeitstand erreichen.

Bei der beschriebenen Überführung des Gases in die Pipette wird die im Schenkelrohr C, zwischen dem oberen Bürettennullpunkt und dem Flüssigkeitsfaden in D, befindliche Menge atmosphärischer Luft mit in das Laugengefäss E übergetrieben und dem Saturationsgas beigemischt; diese kleine Menge Luft bedeutet also eine Unrichtigkeit in der Gasanalyse, bewirkt aber bei der Geringfügigkeit ihres Volums, in welchem bloss Spuren von Kohlensäure enthalten sind, nur so geringe Fehler, dass dieselben für die Kohlensäurebestimmung gänzlich belanglos sind und erst bei mehrmaliger Pipettenbenutzung in der Restbestimmung des Stickstoffes einige Zehntelkubikcentimeter ausmachen.

Nach bewirktem Zurücktreiben des kohlensäurefreien Gasrestes in die Bürette wird der Quetschhahn f, wie bemerkt, geschlossen und die Verbindung des Schenkelrohres C der Kohlensäurepipette mit der Gasbürette gelöst. Man nimmt nun das Einstellrohr und das Messrohr, beide am eisernen Fuss erfassend, in je eine Hand und stellt durch Senken oder Heben des einen oder andern Rohres in beiden den Flüssigkeit-

spiegel in genau gleiche Höhe. Der höhere Stand der Flüssigkeit über dem unteren Nullpunkt zeigt den Kohlensäuregehalt des untersuchten Gasgemisches an, den man nunmehr unmittelbar ablesen kann.

Wie äusserst genau auf eben beschriebene Weise selbst die kleinsten Mengen Kohlensäure ermittelt werden können, ergibt sich daraus, dass man den Kohlensäuregehalt der Luft, der in bewohnten und in Versammlungsräumen zwischen 0,1 bis 0,3 % schwankt, mit Hülfe der Hempelschen Methode bis auf 0,05 % genau bestimmen kann, sobald man sich gehörig eingeübt hat; diese Fehlergrenze entspricht also annähernd dem Kohlensäuregehalt der reinen atmosphärischen Luft (0,04 %).

IV.

Die Sauerstoffpipette mit Phosphorfüllung.

Die Sauerstoffpipette ist genau wie die Kohlensäurepipette beschaffen. Die Beschickung des zylindrischen Teils E geschieht, nachdem der Apparat auf den Kopf gestellt ist, durch den Hals h. Man füllt den Cylinder mit Wasser und bringt alsdann soviel als möglich dünne Stangen von Phosphor hinein, diese möglichst senkrecht und parallel zu einander schichtend. Ist dies geschehen, so wird die Öffnung mit einem guten Kork oder weichen Gummistopfen verschlossen und der Apparat wieder auf den Fuss gestellt. *Der Verschluss muss* durch Draht- oder Schnurenverband gegen Herausrutschen oder Undichtwerden *völlig gesichert* werden, weil beim Sinken des Wasserspiegels der Phosphor sich entzünden würde.

Dass das Unterschieben einer festen Unterlage die beste Sicherheit gegen Lockerung des Stopfens gewährt, mag hier nochmals und besonders hervorgehoben werden.

Das Rohrende i der Aussenkugel F ist wie bei der Kohlensäurepipette zu verschliessen.

Die Phosphorpipette darf dem direkten Tageslicht für gewöhnlich *nicht* ausgesetzt werden und ist daher ausser dem Gebrauch in dem von Leuner mitgelieferten schwarzen Stellkistchen aufzubewahren. Man beachte wohl, dass die Pipette *niemals liegend* aufbewahrt werden darf, da hierbei das Absperrwasser ausfliessen und durch Entzündung des Phosphors infolge eindringender Luft direkte Feuersgefahr hervorgerufen würde[1]), die bei aufrecht stehender Pipette unbedingt ausgeschlossen ist.

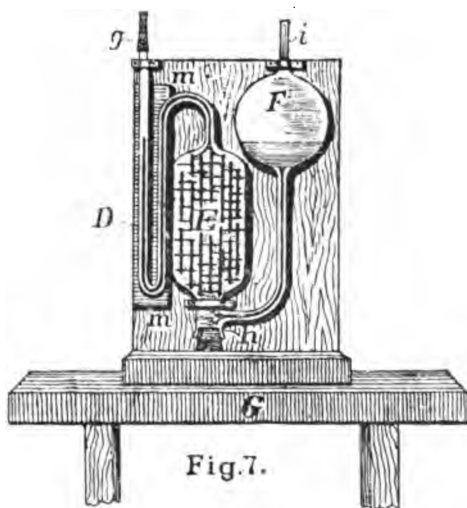


Fig. 7.

Man hüte sich auch, das Sperrwasser auf wunde Stellen der Hand kommen zu lassen, da es sehr giftig ist, und man erneuere es zuweilen, sobald man merkt, dass dasselbe nicht mehr leichtflüssig von den Phosphorstangen abläuft und die Reaktion länger als gewöhnlich auf sich warten lässt, weil ohne diese Erneuerung allmählich eine konzentrierte Lösung von Phosphorsäure und phosphoriger Säure sich bildet, welche die innige Berührung des Sauerstoffes mit dem Phosphor abschwächt.

---

1) Wie mir mitgeteilt wurde, hat in einer gefüllt versandten Pipette, deren Kistchen unvorsichtiger Weise ohne die Aufschrift „Oben! Nicht stürzen!" gelassen war, der Phosphor sich entzündet und den Brand eines Postwagens im Eisenbahnzug veranlasst. Eine solche Pipette darf deshalb vor dem Versand nie gefüllt werden. Leuner versendet bei Bestellung dieser Pipetten den Phosphor stets in einer besonderen gut verstöpselten und verpackten Flasche.

Die Erneuerung des Sperrwassers muss mit der nötigen Vorsicht gegen Entzündung des Phosphors geschehen. Es empfiehlt sich, in einem kalten Zimmer vorerst die Hälfte des Wassers mit einem mit Wasser gefüllten dünnen Gummischlauch durch die Rohrmündung i hindurch abzuhebern und schleunigst wieder durch destilliertes kaltes Wasser zu ersetzen. Nach Umschütteln und zwei- bis dreifacher Wiederholung dieser Prozedur — vor jeder Wiederholung überzeuge man sich, dass der Absorptionszylinder abgekühlt ist — kann man die Erneuerung als genügend ansehen.

Während des Gebrauches der Pipette schützt man den Phosphor im Absorptionszylinder vor der direkten Belichtung auf der Tageslichtseite durch Vorstecken schwarzen Papiers oder auch nur einer gebogenen steifen Karte.

Die Reaktion des Sauerstoffes auf Phosphor tritt nicht unter allen Umständen ein und merkwürdiger Weise bei reinem Sauerstoff zum Teil viel schwieriger als in Gasgemischen; sie wird erschwert oder verhindert bei niedriger Temperatur sowie bei erhöhtem Druck des Gases, erleichtert bei Luftverdünnung unter den Atmosphärendruck und bei Verdünnung des Sauerstoffes durch Mischung mit einem fremden Gas[1]). Ferner wird die Oxydation des Phosphors durch Sauerstoff verhindert bei Gegenwart von sehr geringen Mengen Äthylen und einigen anderen schweren Kohlenwasserstoffen[2]). Dieselben kommen jedoch im Saturationsgas selten vor, weniger selten aber in den Kesselfeuerungsgasen, besonders bei Braunkohlenfeuerung; es ist dann vor der Sauerstoffbestimmung deren Entfernung mittelst der Schwefelsäurepipette vorzunehmen, worüber das Nähere in Abschnitt VI gesagt ist.

Wegen des oben genannten Einflusses niedriger Temperatur ist die Analyse bei kalter Jahreszeit stets in geheizten Räumen auszuführen; falls die Reaktion nicht sogleich energisch vor sich geht, schliesse man die Rohrmündung i der Wasserkugel F und senke das Einstellrohr etwas, um eine schwache Verdünnung des Gases unter den Atmosphärendruck herbeizuführen.

---

[1]) Näheres hierüber findet sich in Hempel, Gasanalytische Methoden, III. Aufl. S. 141 u. f.

[2]) Ebendaselbst.

Bei Tageslicht erkennt man die beginnende Reaktion an der Entwickelung weisser Dämpfe von Phosphorsäure, phosphoriger Säure u. s. w., deren Wiederverschwinden man nicht abzuwarten braucht, da sie nur geringe Spannung haben; in etwa 3, höchstens 5 Minuten ist die Reaktion, welche man im Dunkeln am Aufleuchten des Phosphors verfolgen kann, sicher beendet.

Nach Absorption des Sauerstoffes wird der Gasrest, so wie unter III ausführlich beschrieben wurde, wieder in das Messrohr zurückgetrieben: Die Differenz des jetzigen und vorherigen Gasvolumens ist gleich dem Prozentgehalt des Gasgemisches an Sauerstoff.

Der Wirkungswert des Phosphors ist unbegrenzt, so lange noch die Phosphorstangen als solche sich erhalten, wenn sie auch durch vielfachen Gebrauch schliesslich sehr dünn geworden sind.

V.

Die Kohlenoxydpipette mit Kupferchlorürlösung.

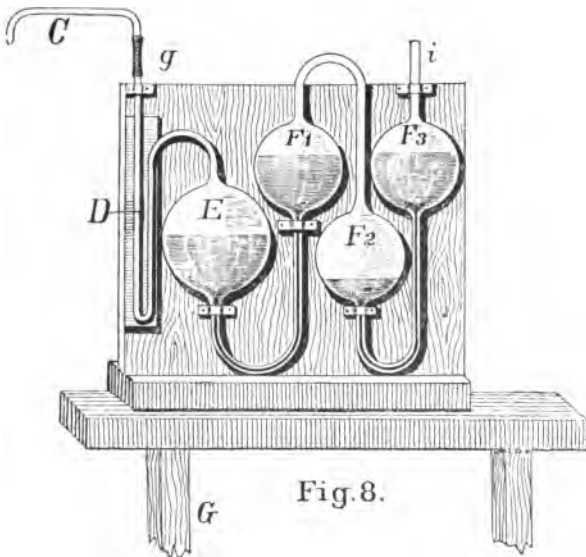


Fig. 8.

Man benutzt hierzu die sogen. *zusammengesetzte Absorptionspipette*, bestehend aus einer grossen Glaskugel E von

etwa 150 ccm Inhalt und 3 kleineren Kugeln F_1, F_2, F_3 von je 100 ccm Fassungsraum. An E befindet sich wieder das kapillare Schenkelrohr D, das wie bei den anderen Pipetten mit einem zweiten Kapillarrohr C verbunden wird.

Zur Absorption des Kohlenoxydgases benutzt man sowohl salzsaure als auch ammoniakalische Kupferchlorürlösung. Die erstere bereitet man nach Hempel wie folgt: 86 g Kupferdraht mit 17 g Kupferpulver, das man durch Reduktion von Kupferoxyd mit Wasserstoff hergestellt hat, werden langsam und unter Umschütteln in 1086 g Salzsäure von 1,124 spez. Gewicht eingetragen, ferner in die Flüssigkeit eine vom Boden bis zur Hälfte der Aufbewahrungsflasche reichende Spirale von Kupferdraht eingestellt und das Gefäss mit einem weichen Gummistopfen geschlossen.

Man kann auch etwa 200 g käuflichen Grünspan in Salzsäure lösen, die Lösung mit dem reichlich gleichen Gewicht dünner Kupferblechstückchen in wohl verschlossener Flasche bei öfterem Umschütteln reduzieren, bis sie fast farblos wird, sodann das Kupferchlorür aus der Lösung mit viel destilliertem Wasser, in einer Anzahl grosser Bechergläser verteilt, als weisses unlösliches Pulver ausfällen, dekantieren, schnell auf ein Filter bringen und noch feucht mit soviel konz. Salzsäure behandeln, als gerade zur Lösung nötig ist, ohne grösseren Überschuss anzuwenden, wonach man die Lösung mit soviel Wasser verdünnt, dass sie gerade aufhört, starke sichtbare Salzsäuredämpfe zu entwickeln. Diese letzte Art der Darstellung ist etwas zeitraubender. Übrigens kann die fertige Lösung jetzt auch von Leuner oder von sonst bekannten Firmen bezogen werden.

Die fast farblose, von wenig Kupferoxyd schwach bräunlich gefärbte Kupferchlorürlösung wird nach Hempel in einer wohl verschlossenen, nahe am Boden mit Tubus versehenen Flasche am besten unter Petroleum aufbewahrt. Nach Entnahme von Kupferchlorürlösung — unter Benutzung des in den Tubus der Flasche angebrachten und für gewöhnlich mit Glas- oder Quetschhahn geschlossenen Glasrohres — ist die Flasche wieder völlig mit Petroleum zu füllen und gut zu verstöpseln. Hat man keine tubulierte Flasche zur Verfügung, so genügt auch eine einfache Glasstöpselflasche, wenn man aus dem von der Flüssigkeit

nicht erfüllten Raum die atmosphärische Luft durch längeres Einleiten von reiner Kohlensäure verdrängt und dann die Flasche mit gut sitzendem stearintalggefetteten Glasstöpsel verschliesst. Es ist rätlich, um keine Oxydation aufkommen zu lassen, in die Lösung einige lange Stückchen Kupferblech oder Kupferdrahtspiralen einzustellen.

Die ammoniakalische Kupferchlorürlösung stellt man nach Winkler[1]) wie folgt dar: 250 g Ammoniumchlorid werden in 750 g Wasser gelöst, die Lösung wird in eine mit Gummistopfen dicht verschliessbare Flasche gebracht und derselben 200 g Kupferchlorür hinzugefügt. Dasselbe löst sich bei öfterem Umschütteln bis auf einen geringen Rückstand von Kupferoxychlorid auf. Man stellt in die Flasche noch eine vom Boden bis zum Flaschenhals reichende Kupferspirale ein, wodurch sich die gut verschlossene Lösung beliebig lange hält. In Berührung mit Luft scheidet sie grünes Kupferoxychlorid ab.

Um diese Lösung für die Hempelsche Pipette gebrauchsfertig zu machen, setzt man ihr ein Drittel ihres Volumens Ammoniakflüssigkeit von 0,905 sp. Gew. zu und verbraucht zur Füllung der Pipette etwa 50 ccm davon bei 150 ccm der Kupferlösung.

Die ammoniakalische Chlorürlösung hat den Vorzug, dass das von ihr aufgenommene Kohlenoxyd mit dem Ammoniak sich allmählich in kohlensaures Ammoniak umsetzt unter Abscheidung von metallischem Kupfer, sodass das absorbierte Kohlenoxyd immer wieder verschwindet, wogegen das ausgeschiedene Kupfer die Kupferchlorürlösung vor Oxydation schützt.

Der zulässige Absorptionswert der salzsauren oder ammoniakalischen Lösung beträgt 4 ccm Kohlenoxydgas.

Das Füllen der Kugel E mit Kupferchlorürlösung geschieht wieder derart, dass man vorerst die Pipette stürzt, also auf den Kopf stellt und das Ende g mit einem Gummischlauch verbindet, der in die Kupferchlorürlösung taucht. Durch Saugen bei i, was am besten mit dem Aspirator geschieht, füllt sich durch den Schenkel d hindurch die Kugel E; sowie sie voll ist, wird die Pipette geneigt, so dass die in F_1 eintretende Flüssigkeit diese Kugel nur ein wenig anfüllt, ohne in das Ver-

---

[1]) Winkler, Technische Gasanalyse, 2. Aufl., S. 77.

bindungsrohr nach F_2 zu gelangen. Dann stellt man die Pipette aufrecht und bringt mittelst einer gewöhnlichen Saugpipette mit dünnem Ausflussrohr durch i das Sperrwasser — destilliertes Wasser — in F_3 und F_2. Durch Überdrücken von 90 ccm Kohlensäure nach E mittelst der Messbürette, in die man sich zuvor dieses Gas eingeleitet hat, wird aus F_2 soviel Luft durch das Sperrwasser getrieben, als nötig ist, um annähernd den in der Figur 8 angedeuteten Stand desselben zu erhalten. Nach Zurücksaugen des Gases, bezw. der

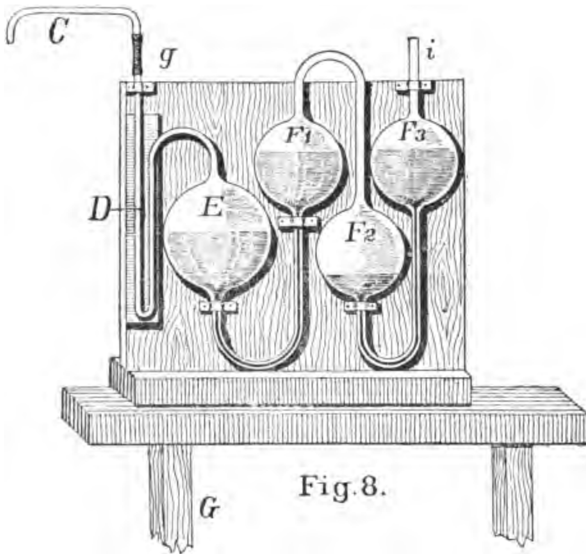


Fig. 8.

Kupferchlorürlösung bis in den Schenkel D, darf das Sperrwasser die Kugel F_2 nicht ganz erfüllen. Denn würde man z. B. ein kohlenoxydhaltiges, jedoch kohlensäure- und sauerstofffreies Gas in Untersuchung nehmen — was allerdings bei den Rauchgasen und beim Saturationsgas ausgeschlossen ist —, so würden statt der 90 ccm volle 100 ccm Gas nach E gelangen, ein Teil der zwischen F_1 und F_2 befindlichen Luft würde noch durch das Sperrwasser hindurchgetrieben werden und beim Rücksaugen müsste dann das Sperrwasser in F_2 zu hoch steigen und nach F_1 übertreten.

Die Überführung des auf Kohlenoxydgehalt zu untersuchenden Gasgemisches geschieht wie bei den früheren Unter-

suchungen. Die Absorption des Kohlenoxydgases geht jedoch nicht sehr schnell vor sich, und deshalb ist hierbei die Oberfläche der Kupferchlorürlösung durch *Schwenken — nicht Schütteln* — in der Kugel, sodass die Kugelinnenfläche fortwährend frisch bespült wird, stetig zu erneuern. Nach Verlauf von 3 Minuten kann der Gasrest wieder in das Messrohr zurückgeführt werden.

Hierbei ist noch folgendes zu beachten: Bei dem Schwenken der Kupferchlorürlösung pflegt in der Eingangsöffnung der Kugel E ein grösserer Tropfen der Lösung hängen zu bleiben. Um denselben nicht vor dem Gase her beim Zurücksaugen mit überzudrücken, wodurch mehrerlei Übelstände entstehen würden — besonders wird dadurch die Gummischlauchverbindung bald brüchig —, bewirkt man durch geringes Anheben des Einstellrohres und *momentanes* Anlüften des Quetschhahnes f an dem Messrohr ein Herunterdrücken des Tropfens bis zum Abfliessen desselben in die Kugel. Dann erst wird das Einstellrohr gesenkt und der Gasrest — zumeist nur noch reiner Stickstoff — in das Messrohr zurückgesogen, bis der braune Flüssigkeitsfaden der Kupferchlorürlösung wieder den ursprünglichen Stand im vorderen Teil des Schenkelrohres D erreicht hat.

Die Differenz des restlichen Gasvolumens in der Messröhre gegenüber demjenigen vor der Behandlung mit Kupferchlorürlösung ergibt die absorbierte Menge Kohlenoxydgas.

Es kommt nun hierbei öfters vor, dass das jetzt erhaltene Gasvolumen um ein oder einige Zehntel-Kubikcentimeter grösser geworden ist, als es vor der Prüfung auf Kohlenoxydgas war. Diese Erscheinung hat folgende Bewandnis:

Die Tension der salzsauren oder ammoniakalischen Lösung des Kupferchlorürs ist zwar keine bedeutende, es kann dieselbe bei Analysen, wo keine grosse Genauigkeit verlangt wird, vernachlässigt werden; will man jedoch auf Zehntel-Kubikcentimeter genau arbeiten, so ist die aus der Kupferchlorürlösung in das Gasgemisch übergehende gasförmige Salzsäure oder das Ammoniakgas, welche eine geringe Vergrösserung des Gasvolums bewirken, durch Schütteln des Restgases mit dem Wasser in dem Messrohr aus dem Gase zu entfernen, wobei man jedoch etwas länger als gewöhnlich wartet, bevor der

Meniskusstand in der Bürette abgelesen wird, weil das Wasser von der Wandung erst gehörig ablaufen muss. Man kommt bei der salzsauren Lösung fast ebenso schnell und noch sicherer zum Ziel, wenn man das Gas von den sauren Dämpfen durch einmaliges Überführen in die Kalipipette reinigt.

War überhaupt kein Kohlenoxyd im Gasgemisch, so wird vor der Entfernung des Salzsäure- oder des Ammoniakdampfes das Gasvolumen immer ein wenig vergrössert erscheinen.

Aber auch nach Entfernung dieses Dampfes kann dieser Fall noch eintreten und zwar dann, wenn die Kupferchlorürlösung, und zwar besonders die salzsaure, bereits viel Kohlenoxydgas aufgenommen hat. In diesem Falle entlässt sie nach Hempel in Berührung mit einem kohlenoxydfreien Gasgemisch in dieses einen Teil des nur locker gebundenen Kohlenoxydgases, besonders beim Schütteln, weshalb die Lösung nur sanft geschwenkt werden darf. Zur sicheren Beseitigung etwa hieraus entstehender Fehlerquellen empfiehlt Hempel, zwei Kupferchlorürpipetten nach einander anzuwenden: vorerst die bereits vielfach gebrauchte und sodann eine weniger gebrauchte, welche für längere Zeit nur als Nachpipette zu benutzen ist.

Beim Saturationsgas kommt Kohlenoxyd verhältnismässig selten und dann meist nur in sehr geringen Mengen vor, sodass hier, wo es sich nur um Kontrolle des technischen Betriebes handelt, die Nachpipette fortbleiben kann; nötigenfalls wechselt man die Kupferchlorürlösung etwas früher aus, als dies bei Benutzung einer Nachpipette nötig wäre.

Ein dritter Grund für die Ungenauigkeit der Kohlenoxydbestimmung kann folgender sein: Zuweilen ist in den Feuerungsgasen, sowie auch im Saturationsgas, sofern der Kalkofen mit Braunkohlengasfeuerung betrieben wird, ein Gehalt an schweren Kohlenwasserstoffen vorhanden, worauf man aus dem Geruch der Gase, wie auch aus den begleitenden weissen Dämpfen in der Aspiratorflasche und aus teerartigen Abscheidungen im Kondenswasser der Kohlensäurepumpe schliessen kann. Die Kupferchlorürlösung hat aber die Eigenschaft, ausser Kohlenoxyd auch die *schweren Kohlenwasserstoffe sehr leicht zu absorbieren*, namentlich *Äthylen-* und *Acetylengas*. Diese

sind daher *vor* der Kohlenoxydgas-Bestimmung zu entfernen. Ebenso war es, wie bereits früher bemerkt, für die Sauerstoffbestimmung mittelst der mit Phosphor gefüllten Pipette bei Anwesenheit schwerer Kohlenwasserstoffe nötig, diese *vor* der Behandlung mit der Phosphorpipette zu beseitigen.

Dies geschieht mit der Pipette mit rauchender Schwefelsäure, welche man sonach in der Reihenfolge der Untersuchung auf Kohlensäure, Sauerstoff und Kohlenoxyd zwischen die Kohlensäure- und die Sauerstoff-Pipette einschiebt, sobald ein Gehalt an schweren Kohlenwasserstoffen wahrscheinlich ist.

VI.

Die Pipette für schwere Kohlenwasserstoffe mit rauchender Schwefelsäure.

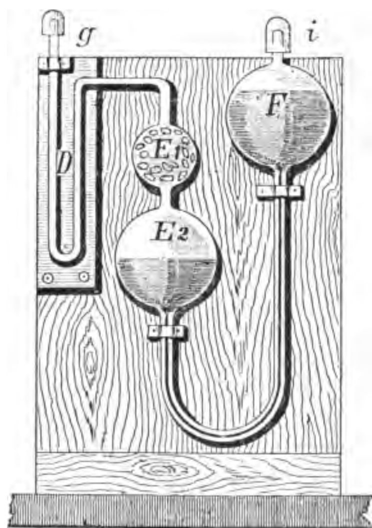


Fig. 9.

Dieselbe ist eine einfache Pipette, bei welcher das Gefäss zur Aufnahme des Untersuchungsgases aus 2 Kugeln E_1 und E_2 besteht, wie Fig. 9 zeigt. Die obere kleinere Kugel E_1 ist

mit Glassplittern gefüllt, die zur Vergrösserung der Absorptionsfläche der Schwefelsäure dienen[1]).

Die Pipette wird aufrecht stehend mittelst engem Trichterrohr, dem sogen. Füllröhrchen, durch i hindurch mit hochkonzentrierter *rauchender* Schwefelsäure gefüllt, sodass bei Vollfüllung der Kugeln E_1 und E_2 bis zum Übersteigen in den Schenkel D nur wenig von derselben in F verbleibt. Das Überdrücken bis in den Schenkel D kann durch Einführen von gepresster Luft in i mittelst Mess- und Einstellrohr geschehen. Die Säure ist insoweit mit ganz wenig Wasser oder bequemer mit etwas englischer Schwefelsäure zu verdünnen, dass sie bei geringer Erniedrigung der normalen Zimmertemperatur Kristalle von Pyroschwefelsäure abzuscheiden beginnt.

Nach dem Gebrauch schiebt man sowohl über die Kapillare g wie über das Rohrstück i einen schmalen Gummiring, setzt darüber ein kleines Glashütchen auf und schliesst so die Pipette nach aussen hin vollkommen ab.

Der zulässige Absorptionswert beträgt 8 ccm schwere Kohlenwasserstoffe.

Wie bei der Kohlensäurepipette genügt auch hier ein einmaliges Überführen des fraglichen Gasgemisches, jedoch wartet man mit dem Zurücksaugen etwa eine Minute. Bei der Reaktion der Schwefelsäure auf die schweren Kohlenwasserstoffe entwickelt sich ein wenig schweflige Säure und diese sowohl als der Dampf der rauchenden Schwefelsäure besitzen starke Spannung, weshalb nach Rückführung in die Gasbürette das Gas noch einmal mit der Kalilauge der Kohlensäurepipette zu behandeln ist, um die sauren Dämpfe zu entfernen.

Wenn man bei der Untersuchung auf Sauerstoff- und Kohlenoxydgehalt jederzeit völlig sicher gehen will, tut man gut, nach der Kohlensäurebestimmung stets erst die Pipette für schwere Kohlenwasserstoffe in den Gang der Untersuchung einzuschalten, sodass also bei Bestimmung von Kohlensäure,

---

[1]) Es wäre besser, wenn der Glasbläser beim Anfertigen dieser Pipette statt der Glassplitter Glasperlen, diese aber so einbringen könnte, dass sie nicht in die untere Kugel herabfallen, da sehr leicht zwischen den Glassplittern kleine Glasbläschen hängen bleiben, die zu entfernen nicht gelingen will.

Sauerstoff und Kohlenoxyd folgende Pipetten nach einander in Benutzung kommen: Kohlensäurepipette, Pipette für schwere Kohlenwasserstoffe, nochmals Kohlensäurepipette, Sauerstoffpipette mit Phosphorfüllung, Kohlenoxydpipette.

VII.

Die Sauerstoffpipette mit Pyrogallussäurelösung.

Bei Gegenwart von schweren Kohlenwasserstoffen kann man, sobald nur der Sauerstoffgehalt bestimmt werden soll, statt der beiden Pipetten mit Schwefelsäure und mit Phosphor vorteilhaft auch nur die Pipette mit Pyrogallussäurelösung benutzen. Dieselbe ist eine zusammengesetzte Pipette gleich derjenigen für Kupferchlorürlösung.

Man bereitet die Lösung des pyrogallussauren Kali nach Hempel durch Vermischen einer Lösung von 5 g Pyrogallussäure in 15 ccm Wasser und von 120 g Ätzkali in 80 ccm Wasser. Das verwendete Ätzkali darf nicht mit Alkohol gereinigt sein, weil dies, selbst wenn es stark geglüht ist, bei den Analysen fehlerhafte Resultate zeitigt. Die Füllung der Pipette geschieht durch Einsaugen wie bei der Kohlenoxydpipette.

Die Absorption des Sauerstoffes geht, ähnlich wie beim Phosphor, bei niedriger Temperatur nur sehr langsam vor sich und ist daher stets bei mindestens 15° C. zu bewirken. Hierbei ist es nötig, während 3 Minuten die Lösung mit dem Gas durcheinander zu schütteln. Da das Reagenz hierbei und an sich stärker schäumt als die Kupferchlorürlösung, so beachte man umsomehr die bereits für diese gegebene Anweisung, das Zurücksaugen von Schaumblasen in den Schenkel D zu vermeiden und warte mit dem Zurücksaugen nach dem Schütteln einige Zeit.

Der Absorptionswert der Lösung ist 2 bis $2^1/_4$ ccm, weshalb man die Lösung nicht allzulang benutzen kann. Dieserhalb hat die Sauerstoffpipette mit Phosphorfüllung wegen ihrer fast unbegrenzten Aufnahmefähigkeit von Sauerstoff einen grossen Vorzug vor derjenigen mit Pyrogallussäurelösung.

VIII.

Die Entnahme der Rauchgase.

Dieselbe geschieht am richtigsten entweder hinter den Feuerrohren der Dampfkessel oder aus dem letzten Kesselzug noch vor dem Kesselschieber.

Liegt die hintere Seite der Kesseleinmauerung nicht frei, so lässt man, um mit einem Saugrohre in den letzten Kesselzug zu gelangen, zweckmässig in das Mauerwerk hinter dem Kessel ein von der Deckschicht des Kessels bis unter die Wölbung des betreffendes Zuges reichendes Porzellanrohr P (siehe Fig. 10) von etwa 4 ctm Weite einmauern. Das Rohr ist selbstredend für gewöhnlich geschlossen zu halten.

Bei Entnahme von Rauchgasen senkt man das oben zu einer schlanken konischen Spitze verjüngte 7 mm weite eiserne Saugrohr D, das mit einem Aspirator mittelst eines starkwandigen Gummischlauches C verbunden wird, bis unter das Porzellanrohr ein; der am Eingang zwischen Saugrohr und Porzellanrohr verbleibende Öffnungsraum wird völlig luftdicht verschlossen, was mit einem durchbohrten Kork geschehen kann.

Zum Ansaugen der Feuergase benutzt man den leicht transportablen sogenannten *kleinen Glasflaschen-Aspirator*, der überall da in Verwendung kommt, wo es sich um augenblickliche und an beliebiger Stelle auszuführende Untersuchungen handelt; wogegen zu mehrstündigem Ansaugen des Durchschnittes der Feuergase der sogen. *grosse Aspirator* benutzt wird.

Der *kleine Aspirator* besteht aus zwei Glasflaschen A und B von etwa je 4 Liter Inhalt mit Tubus nahe am Boden. Als Füllung dient einmal gereinigtes Glyzerin, das mit Wasser bis auf etwa 42^0 Bx. verdünnt wird, um es leichtflüssiger zu machen. Die Verbindung der beiden Flaschen von Tubus zu Tubus, die mittelst durchbohrtem Kork, Glasrohr und etwa $1^1/_2$ m langem starkwandigem Gummischlauch H hergestellt wird, ist des schnelleren Fliessens der immerhin öligen Glyzerinlösung halber mindestens 7 mm im Lichten weit zu nehmen. Von dem verdünnten Glycerin wird soviel eingefüllt, dass, wenn B bis an den Hals gefüllt ist, der Flüssigkeitstand in A den unteren Tubus übersteigt. Da das Mauerwerk über dem Fuchs

meist ziemlich heiss ist, dürfen die Aspiratorflaschen nicht unmittelbar daraufgestellt werden, man legt am besten einen

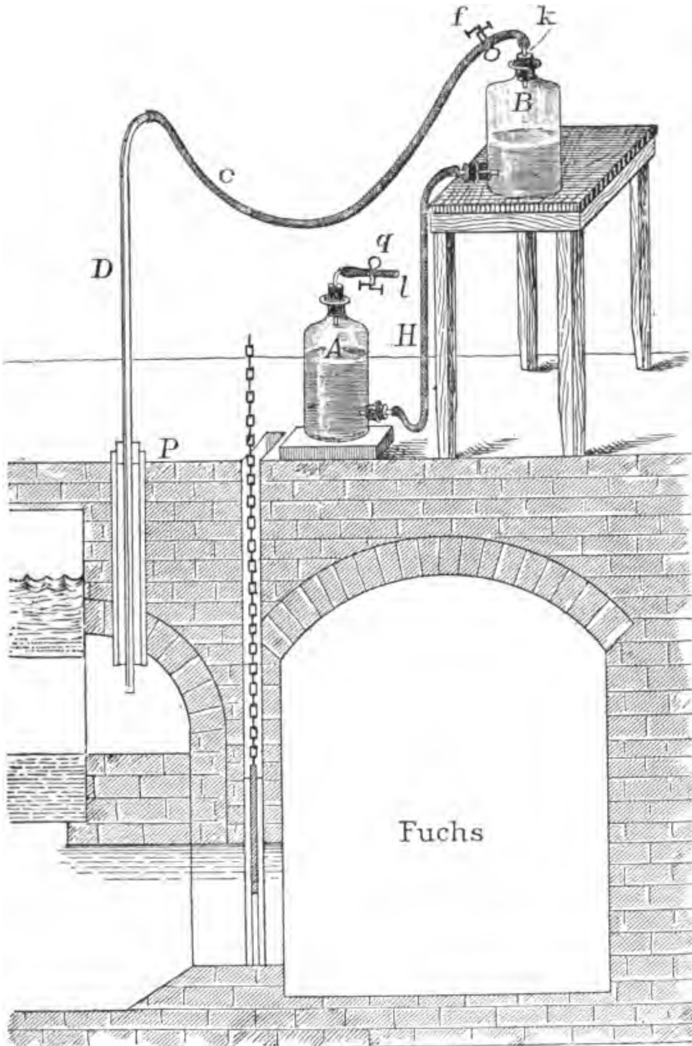


Fig. 10.

breiten Holzklotz unter und vermeidet natürlich auch, dass der Gummischlauch auf das warme Mauerwerk zu liegen kommt.

Das Glyzerin hat die Eigenschaft, viel weniger Gase zu absorbieren als Wasser; jedoch ist es vor dem ersten Gebrauch zu Analysenzwecken längere Zeit mit Rauchgas in Berührung zu bringen, um eine Sättigung mit den absorbierbaren Rauchgasen zu erzielen.

Da bei Beginn des Saugens sowohl im eingeführten eisernen Saugrohr D als im Verbindungschlauch C und im Hals der Flasche B atmosphärische Luft befindlich ist, welche sich mit den in die Flasche B eingesogenen Kesselgasen mischt, lässt man die Flasche B sich ziemlich ganz mit Gas füllen, — indem das Glyzerin aus der hochgestellten Flasche B herunter nach A läuft — um den Prozentsatz von Luft im Gasgemisch auf ein möglichst geringes Mass herabzudrücken. Dann wechselt man die Stellung von A und B, setzt B auf den Boden und stellt A hoch und treibt nunmehr das Gasgemisch durch D wieder in den Kesselzug zurück. Sobald B fast bis an die Abströmungsöffnung gefüllt ist, wechselt man wieder die Stellung von A und B und saugt von neuem Heizgase ein. Dieses Spiel wird noch 2 mal wiederholt, wonach man sicher sein kann, die letzten geringen Reste nicht zugehöriger atmosphärischer Luft aus dem Heizgas entfernt, gewissermassen mit den Heizgasen selbst herausgespült zu haben.

Sobald nach dem letzten Einsaugen des Heizgases die Flasche B damit ziemlich gefüllt ist, bringt man A nochmals etwas höher als B und schliesst während des beginnenden Zurückströmens der Gase in den Kesselzug dicht am Glasrohrknie k den Gummischlauch C mit einem guten Quetschhahn f, der vorher natürlich schon übergeschoben und etwa über dem Glasrohrknie mit dem Spannring aufgehängt war.

Man hat jetzt die reinen Heizgase sicher verschlossen in der Flasche B, schliesst zweckmässig auch den Zugang l zur Flasche A noch mit einem Quetschhahn q, löst den Schlauch C von der Spitze des Saugrohres D und bringt das Ganze nach dem Laboratorium, woselbst vorerst das Glyzerin in Flasche B mit dem Gase etwas durchgeschüttelt wird, damit das allmählich eingesaugte Rauchgas durchaus gleichartig sei, was während der Füllung der Flasche bei unregelmässiger Feuerung nicht immer der Fall ist. Dann stellt man die Flasche A entsprechend hoch und Flasche B auf den Arbeitstisch. Nunmehr wird der Luftzuführungsquetschhahn q an A geöffnet und

nach kurzem Ausströmen des Gases der Schlauch C dicht hinter der am Ende eingesteckten Glasrohrspitze mit demselben Quetschhahn f wieder geschlossen.

Die Überführung des Gases in die Gasbürette geschieht nunmehr genau so, wie unter Abschnitt I angegeben worden ist.

Um das Zurückdrücken des Gases in den Kesselzug resp. das mehrmalige Ausspülen der atmosphärischen Luft bei jeder neuen Einsenkung des Saugrohres D zu umgehen, kann

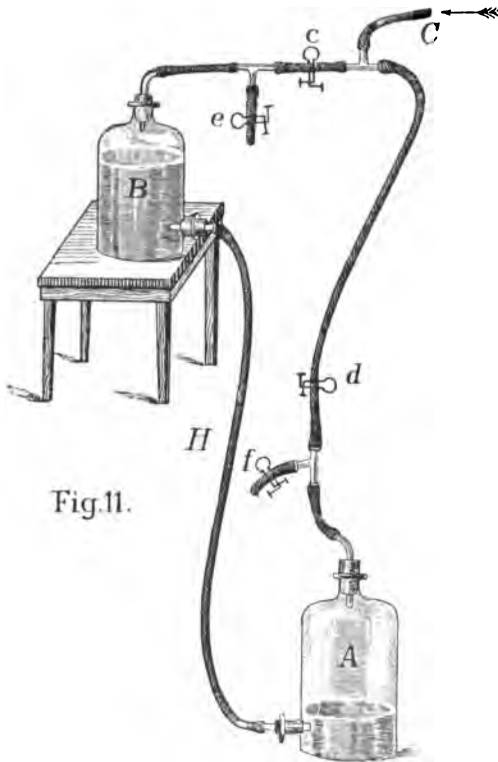


Fig. 11.

man nach Dr. Fettback ausser den Tuben auch die Flaschenhälse mit einander verbinden, und zwar durch eine Schlauchleitung, in welche drei T Rohre eingefügt sind, von denen das mittelste mit dem Saugstrang C verbunden ist, wogegen die beiden anderen als Druckstutzen zur Gasentnahme dienen.

Beide Flaschen werden umschichtig zur Ansaugung sowie zum Abdrücken der Rauchgase benutzt, die hier nicht wieder,

wie bei der vorhin beschriebenen Ausführungsweise, in den Fuchs resp. Kesselzug zurückgeführt zu werden brauchen, um die zuerst beigemischte atmosphärische Luft zu beseitigen; vielmehr wird dieselbe gleich aus dem jeweilig tiefer liegenden Druckstutzen abgelassen.

Nach dem Beispiel in der Figur 11 wird das Rauchgas nach B angesaugt, wobei die Quetschhähne c und f offen, dagegen e und d geschlossen sind; f kann, wenn A bereits mit reinem Rauchgas gefüllt ist, zur Gasentnahme dienen.

Statt der Quetschhähne c und e sowie d und f lassen sich nach Arthur Rosenheim[1]) die Sacko'schen Glasventile benutzen, wie aus nachstehender Figur 12 ersichtlich ist.

Die Ventilklappen werden hier durch Glasstäbchen gebildet, welche in ihrem unteren Ende in die Erweiterungen des Glasrohres eingeschliffen sind. Bei dem kleinsten Druckunterschiede spielen diese Stäbchen leicht ein und verschliessen resp. öffnen selbsttätig das passende Glasrohr. Sobald eine Flüssigkeit von Flasche A nach B läuft, entsteht in A ein luftverdünnter Raum, der in a den Glasstöpsel hebt und so jede Art von Gasen ansaugt, während b durch den Überdruck, der von B ausgeht, geschlossen bleibt; denn in Flasche B erzeugt die von A einströmende Flüssigkeit Pressluft und diese öffnet wiederum b_1 und schliesst a_1. Die Luft oder, falls schon Gas in B ist, der Gasstrom muss also den Weg in Richtung des Pfeiles einschlagen.

Ist A bis beinahe zum Abflussstutzen leer gelaufen, so hat man nur nötig, die Stellung der beiden Flaschen zu wechseln.

Der Verfasser hat leider keine Gelegenheit gehabt, mit diesen Ventilen zu arbeiten, die jedenfalls auf dichtes Schliessen zu prüfen sind.

Man hüte sich, nach der Beendigung der Gasanalyse den Gasrest in B unbeachtet unter Druck stehen zu lassen, da auch der beste Gummischlauch etwas gasdurchlässig ist und daher auch bei völliger Dichtheit der Verschlusskorke u. s. w. die Glyzerinflüssigkeit mit der Zeit bis in den Schlauch C (Fig. 10, wenn A oben u. B unten steht) gelangen könnte, was bei späteren Analysen unliebsame Störungen zur Folge haben würde. Ganz besonders ist bei der

1) „Chemiker Zeitung", Rep. 1899, pag. 197.

Gasentnahme aus dem Kesselzug darauf zu achten, dass das Glyzerin nicht bis in den Gasschlauch steigt; gelangen nämlich Tropfen davon hinunter in das heisse, am Ende oft glühende eiserne Saugrohr, so wird natürlich das Glyzerin zersetzt und dessen Zersetzungsdämpfe und -Gase vermischen sich mit den Rauchgasen, sodass die Richtigkeit der entnommenen Probe beeinträchtigt wird.

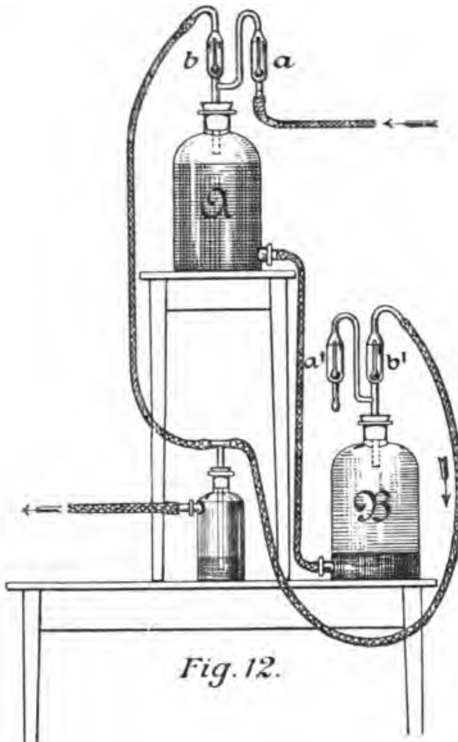


Fig. 12.

Dass man vor Abmessung der Gase in der Bürette den Wärmeausgleich derselben mit der Zimmertemperatur abwarten muss, sei hier nochmals hervorgehoben.

Die Anordnung und Ausrüstung der bereits erwähnten *grossen Aspiratoren* wird in einem späteren Abschnitt besprochen werden. Zuvörderst haben wir noch eine weitere Anwendung des kleinen Aspirators und zwar eine solche, die sich nur auf den Zuckerfabrikationsbetrieb bezieht, in's Auge zu fassen.

IX.

Die Entnahme des Saturationsgases aus dem Saugstrang der Kohlensäurepumpe und aus dem Kalkofen.

In der Regel wird die Entnahme des Saturationsgases an irgend einer Stelle der Druckleitung desselben geschehen können, sei es im Laboratorium selbst oder an einer Saturationsstation in der Fabrik. Ist der Gehalt des Gases an Kohlensäure ein normaler und sind nicht mehr als 1 bis höchstens 2 % Sauerstoff ermittelt worden, so liegt keine Veranlassung vor, das Gas anderswo als dem Druckstrange zu entnehmen. Anders liegt der Fall, wenn man sich über die Ursache eines zu hohen Sauerstoffgehaltes des Gases klar werden will, der entweder von zu grosser Luftzufuhr im Kalkofen oder von undichten Stellen im Saugstrang herrühren kann. Man ist in diesem Falle genötigt, das Gas aus der Abzugzone des Kalkofens oder weiterhin nach der Pumpe aus dem Saugstrange an leicht zugänglichen Stellen zu entnehmen, bis man sich über die Zufuhrstelle überschüssiger Luft Gewissheit verschafft hat.

Die Gasentnahme aus der Saugleitung setzt voraus, dass der hierbei zu benutzende Aspirator stärker saugt, als die Kohlensäurepumpe an der Probeentnahmestelle, weshalb die Flasche B des kleinen Glasflaschen-Aspirators meist sehr hoch über A zu stehen kommen und für diesen Fall noch ein Stück Gummischlauch in die Verbindung beider eingeschaltet werden muss.

Man stellt zweckmässig vorerst die Luftverdünnung im Saugstrang an der Probestelle fest, indem man nach Bohrung eines Loches und Einschneiden von Gewinde einen kleinen Hahn einschraubt, dessen Vorderende ein Rohrstück bildet, über welches das verbindende Gummischlauchstück geschoben werden kann. Mit diesem verbindet man ein nach unten gebogenes Glasrohr, das in ein Gefäss mit Quecksilber gestellt wird. Nach behutsamem Öffnen des Hahnes kann man die ansteigende Quecksilbersäule mit dem Millimeterstab messen.

Die Luftleere schwankt natürlich je nach dem Wirkungsgrad der Kohlensäurepumpe innerhalb weiter Grenzen. Am Kalk-

ofen beträgt sie vielleicht 9—13 cm, nahe der Luftpumpe 10—16 cm Quecksilbersäule.

Als Prüfungstelle des zu untersuchenden Gases eignet sich am bequemsten der Laveur, bei dem man das Bohrloch in etwa halber Höhe desselben anbringt, um nicht unnötiger Weise einen allzulangen Verbindungschlauch vom Laveur nach Flasche B benutzen zu müssen.

Dieser Verbindungschlauch besteht entweder aus einem nicht zusammendrückbaren Spiralschlauch, oder es wird ein gewöhnlicher starker Gummischlauch in seiner ganzen Länge — zur Vermeidung des Zusammenklappens infolge der Luftverdünnung — mit kurzen an den Rändern abgeschmolzenen Glasrohrstückchen angefüllt. Natürlich kann man auch längere Glasrohre, mit Gummischlauchstücken verbunden, in Anwendung bringen, was jedoch in der Handhabung unbequem ist.

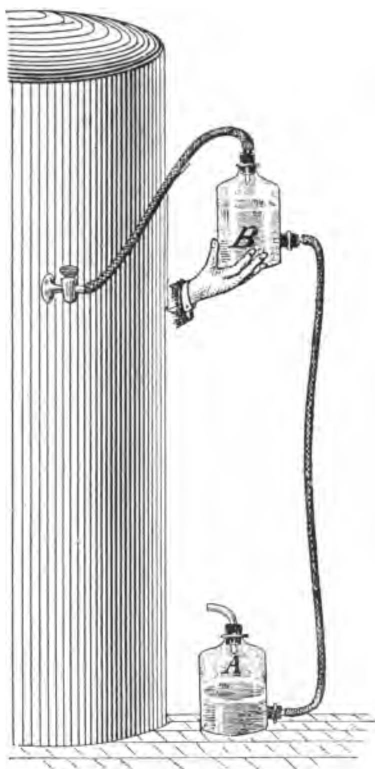


Fig. 13.

Soll das Gas aus dem Kalkofen entnommen werden, so kann man entweder oben auf dem Deckel desselben ein Bohrloch anbringen und durch dasselbe das bei den Heizgasen benutzte eiserne Saugrohr einführen oder man steckt letzteres durch eine der seitlichen Stossöffnungen des Kalkofens, indem man Sorge trägt, den freibleibenden Teil der Öffnung um das Rohr herum mit nassen Lappen fest zu verstopfen oder mit Lehm luftdicht zu verschmieren.

In den verschiedenen Zonen des Kalkofens wird man natürlich eine sehr unterschiedliche Zusammensetzung der

Kalkofengase finden und man hat zur Prüfung, ob der zu hohe Sauerstoffgehalt des Saturationsgases bereits vom Kalkofen ausgeht, die der Absaugezone der Kohlensäurepumpe zunächst liegenden Zonen des Kalkofens ebenfalls einer Untersuchung zu unterwerfen. So kann beispielsweise die etwas tiefer liegende Zone vollkommen normales Saturationsgas ergeben, die höhere aber sehr sauerstoffreich sein, was auf Undichtheiten im Deckel des Kalkofens schliessen lassen würde, die sehr leicht eintreten.

Bei französischen Öfen mit reiner Koksbeschickung zwischen den Kalksteinen kommt es vor, dass in einer gewissen Zone neben Kohlenoxyd auch Wasserstoffgas auftritt, sodass Vorsicht wegen Explosionsgefahr bei der Behandlung der Aspiratorflaschen jedenfalls geboten ist. Man prüfe also auf die jedem Chemiker bekannte Weise das Gas in einem Proberöhrchen, ob es sich entzünden lässt, und hüte sich in diesem Falle, besonders wenn die Entzündung explosiv auftritt, das Gas aus dem Aspirator in der Nähe einer Flamme frei ausströmen zu lassen.

Der Durchschnitt der Saturationsgas-Analysen von 4 Kampagnen und der Verbrauch an Feuerungsmaterial, in Prozenten auf den eingeworfenen Kalkstein bezogen, war für einen Kalkofen mit Braunkohlengasfeuerung und Einwurf von Koks unter die Kalksteine, z. B. folgender:

Kampagne	Saturationsgas		Braunkohlen-Verbrauch auf 100 Teile Kalkstein %	Koks-Einwurf auf 100 Teile Kalkstein %
	Kohlensäure-gehalt %	Sauerstoff-gehalt %		
1893/94	25,0	2,4	30,9	1,7
1894/95	28,0	1,9	27,4	2,8
1896/97	27,9	1,9	25,1	3,5
1895/96	25,3	3,0	26,6	2,2

In dem letztgenannten Jahrgang war die sehr lange in der Erde liegende Saturationsgasleitung vielfach undicht geworden und konnte erst im Sommer erneuert werden.

X.

Kontrolle des Kalkofenbetriebes durch kalorimetrische und chemische Untersuchung des gebrannten Kalkes.

Eine gute und richtige Leitung des Kalkofenbetriebes erkennt man nicht nur aus dem Kohlensäuregehalt der Gichtgase, die in Zuckerfabriken mittelst der Luftpumpe abgesaugt werden und als sogenanntes Saturationsgas zur Wiederabscheidung des Kalkes aus den Zuckersäften Verwendung finden, sondern vor allen Dingen aus der Güte des gebrannten Kalkes.

Bekanntlich hängt der Wert eines gebrannten Kalkes in erster Linie von der Menge des in ihm enthaltenen ablöschbaren Ätzkalkes ab, während die übrigen Bestandteile von nützlicher oder auch schädlicher Wirkung sein können, je nach der Verwendung des Kalkes. Für Bauzwecke kann ein kieselsäure- und tonreicher Kalk, besonders bei Wasserbauten, hohen Wert besitzen, während diese Bestandteile bei der in der Zuckerindustrie üblichen Reinigung, der sogenannten Scheidung der Säfte mit Kalk, nur nachteilig wirken. Nun kann wohl eine dem Brennprozess vorausgehende chemische Analyse des Kalksteins uns Aufschluss darüber geben, ob das Material überhaupt für den bestimmten Zweck brauchbar ist; indessen lässt sich aus der Analyse des Kalksteins nicht berechnen, wieviel in dem aus demselben erhältlichen gebrannten Kalk wirklich freies Calciumoxyd vorhanden sein wird, und wieviel Calciumoxyd dagegen entweder an die Nebenbestandteile des Kalksteins — Kieselsäure und Tonerde — gebunden oder vielleicht auch durch Totbrennen infolge von zu hohen Temperaturen im Kalkofen unwirksam gemacht wird.

Eine hübsche *Annäherungs-Methode zur raschen Ermittelung* des ablöschbaren *freien Ätzkalkes* hat Stiepel angegeben,[1]) indem er hierzu ein sehr sinnreich konstruiertes und leicht zu handhabendes Kalorimeter benutzt, welches die Reaktionswärme misst, die bei der Einwirkung von Wasser auf Ätzkalk frei wird, und die proportional der Menge des wirksamen Kalkes sich entwickelt.

[1]) Zeitschrift d. Vereins d. Deutsch. Zuckerindustrie 1901, pag. 897—902.

Das Kalorimeter besteht aus einem äusseren und einem inneren zylindrischen Gefäss von Hartgummi und aus einem Deckel, gegen den beim Aufsetzen das innere Gefäss vermittelst einer Spiralfeder fest angedrückt wird. In dem Deckel befinden sich zwei Durchbohrungen, und zwar eine für das Thermometer und die zweite für das Rührwerk. Dasselbe besteht aus einem Stabe, an dessen unterem Ende ein becherförmiges Sieb befestigt ist, das zur Aufnahme des zu untersuchenden Kalkes dient. Die Ablöschung desselben in Wasser geschieht in einem, in dem inneren Hartgummigefäss befindlichen Glase, in das der Kalk mittelst des Siebes eingesenkt wird.

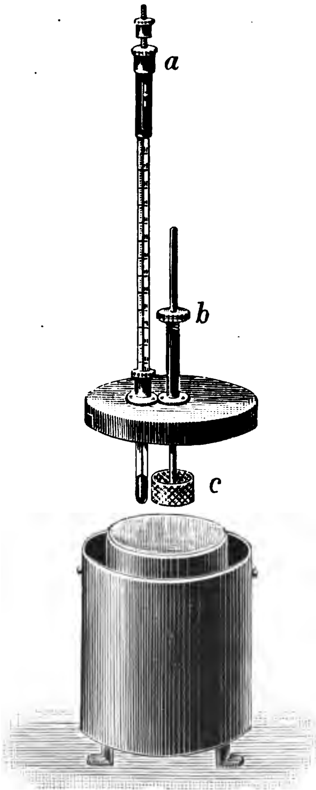


Fig. 14.

Das Thermometer ist nicht in Grade Celsius oder Réaumur eingeteilt, es gibt vielmehr direkt in Prozenten die Menge des ablöschbaren Kalkes an. Der Abstand zweier Teilstriche der Skala entspricht der Temperaturerhöhung, welche 1 % CaO hervorruft. Dem Apparat ist ein bestimmtes Normalgewicht beigegeben, das zugleich dem sogenannten Wasserwert des Kalorimeters, d. h. dem Wärmeverbrauche desselben an sich, bevor eine Temperaturerhöhung des im Löschglase befindlichen Wassers eintritt, Rechnung trägt.

Die Ausführungsweise ist folgende: Man pipettiert 50 ccm destilliertes Wasser in das Becherglas, bringt die abgewogene Menge Kalk in das Sieb, stellt dasselbe mit Hilfe der Befestigungschraube so hoch, dass es beim Schliessen des Deckels nicht in das Wassergefäss eintauchen kann, und schliesst nun den Deckel. Hierauf wird der Nullpunkt der

beweglichen Skala in gleiche Höhe mit dem Quecksilberfaden, wie er gerade je nach der Zimmertemperatur steht, eingestellt, der Kalk vermittelst des Rührwerkes in das Wasser eingesenkt und in demselben ununterbrochen ein wenig auf und ab bewegt, wobei man von Minute zu Minute den jeweiligen Stand des Thermometers notiert.

Sobald das Quecksilber seinen höchsten Stand erreicht hat, entspricht die betreffende Skalenzahl in Prozenten der Menge des ablöschbaren Kalkes in dem angewendeten gebrannten Kalk.

Bei Anwendung von *chemisch reinem* aus Marmor gebranntem Kalk, — und zwar *in Form von festen Tabletten oder Zylindern,* die durch Pressung aus dem zuvor fein gepulverten Kalk hergestellt sind, mittelst deren die Kapazität eines jeden einzelnen Kalorimeters und das für dasselbe benötigte Normalgewicht ermittelt wird, — beträgt die Rührdauer nur 2—3 Minuten bis zur völligen Ablöschung des Kalkes bezw. bis zur Erreichung des Höchststandes des Thermometers. Die von Peters[1]) gelieferten Kalorimeter zeigen bei solcher Prüfung den Hundertprozent-Punkt richtig an.

Die beigegebene Gebrauchsanweisung zur Prüfung eines *fraglichen* Kalkes lautet dagegen derart, dass man erbsengrosse Stücke davon verwenden soll. Viele auf dem Laboratorium der Zuckerfabrik Mühlberg a. E. mit den verschiedensten Kalken ausgeführte Parallel-Versuche haben jedoch ergeben, dass in solchem Falle zumeist ein geringerer als der wirkliche Kalkgehalt gefunden und der zu erhaltende Höchstpunkt um so langsamer und um so weniger erreicht wird, je schlechter der Kalk an sich ist, oder je älter er ist oder je mehr er totgebrannt war.

Stellt man dagegen auch aus dem fraglichen Kalk *Presszylinder* her, wobei übrigens infolge der nötigen Zerkleinerung und Pulverung eine viel richtigere Durchschnittsprobe erzielt wird, so ergibt die Methode in viel kürzerer Zeit bedeutend höhere Werte als bei Anwendung von erbsengrossen Stücken; diese Werte nähern sich dann um so mehr dem wahren Gehalt an freiem Ätzkalk, je reiner und je frischer der gebrannte Kalk ist.

---

[1]) Julius Peters, Berlin, Turmstr. 4.

Beispielsweise wurden bei zwei verschiedenen Kalken von 92,0 und 81,2 % reinem, freiem Ätzkalk mit erbsengrossen Stücken erhalten 77,2 % in 18 Minuten, bezw. 62,4 % in 24 Minuten; bei Anwendung von gepressten Tabletten dagegen 90,5 % in 12 Minuten, bezw. 76,0 % in 15 Minuten.

Die genaue Ermittelung des reinen freien Ätzkalkes kann leichter Weise mit Hülfe der Scheibler-Seyffart'schen Methode [1]) geschehen, deren Ausführung die folgende ist:

Man wägt genau 5 g des zu untersuchenden Kalkpulvers ab, bringt die Menge in einen 250 ccm Kolben, spült mit 30 ccm heissem Wasser nach und lässt das lose bedeckte Gefäss eine halbe Stunde auf kochendem Wasserbade stehen, wobei man zuweilen ein wenig umschwenkt, damit der Brei nicht fest wird. Auch sich schwer löschender Ätzkalk ist nach dieser Zeit völlig in Kalkhydratbrei verwandelt.

Inzwischen wägt man 70—80 g weissen Zucker ab und bringt denselben in einem besonderen etwa 250 ccm fassenden Kolben mit 150 ccm heissem Wasser zur Lösung. Sodann wird diese Zuckerlösung auf 60° abgestimmt, die Kalkmilch nach dem Gefühl der Hand auf gleiche Temperatur abgekühlt, die Zuckerlösung dieser zugesetzt und das Ganze schnell umgeschüttelt. Das Umschütteln muss einige Zeit fortgesetzt werden, bis die Lösung etwas klarer durchschimmernd wird, auch darf dieselbe fernerhin innerhalb der ersten halben Stunde nicht allzu lange der Ruhe überlassen bleiben. Die Zuckerlösung sowie die Kalkmilch dürfen vor dem Zusammenbringen aus dem Grunde nicht wärmer als 60° sein, weil durch die chemische Reaktion, die bei der Vereinigung vor sich geht, selbst noch eine Temperaturerhöhung eintritt, und bei 85° schon der dreibasische Zuckerkalk aus 1 bis 1½ basischer Zuckerlösung sich auszuscheiden beginnt.

Man lässt nun unter zeitweiligem Umschütteln 5-6 Stunden an einem warmen Orte stehen, wonach man filtriert und mit Normalsalzsäure titriert, am besten unter Verwendung von 50 ccm Filtrat. Der erste Ablauf aus dem Filter wird fort-

---

[1]) Scheiblers „Neue Zeitschr. f. Rübenzuckerindustrie" 1879, Bd. III, p. 238/9.

gegossen, weil derselbe infolge Absorption des Filters etwas kalkärmer ist. Die verbrauchten Kubikcentimeter mit 2,8 multipliziert, ergeben unmittelbar die Prozente an freiem Ätzkalk.

Eine *dritte und schnelle Qualitätsbestimmung* des gebrannten Kalkes ist diejenige nach König. Dieselbe liefert zwar kein peinlich genaues Resultat, genügt aber für die Technik und wird in vereinfachter Form, wie folgt, ausgeführt:

20 g Kalkpulver werden in einem Literkolben mit wenig Wasser vollkommen gelöscht und darauf unter Umschütteln mit Wasser bis zur Marke aufgefüllt. Von dieser so erhaltenen Kalkmilch titriert man 50 ccm, in denen genau 1,0 g angewendete Substanz enthalten ist, mit Normalsalzsäure unter Anwendung von Phenolphtaleïn als Indikator. 1 ccm Normalsalzsäure = 0,028 g CaO. Nach derselben Methode kann man natürlich auch die Bestimmung des Kalkhydrates in bereits vorhandener dicker Kalkmilch ausführen, wobei eine richtige Durchschnittsprobe Bedingung ist.

Die Gesamtmenge an Basizität *eines gebrannten Kalkes* lässt sich *direkt durch Titration* bestimmen.

Zu dem Zwecke wägt man nach Angabe von Frühling und Schulz[1]) 2,80 g Kalkpulver ab, bringt es in eine geräumige Porzellanschale, setzt 100 ccm Normalsalpetersäure zu und kocht auf. Nach dem Erkalten titriert man mit Normalnatronlauge zurück. Die Differenz der gebrauchten ccm Normallauge zu 100 ccm ergibt den Prozentgehalt an Gesamtbasizität, wobei alle freien und gebundenen Erden, sowie vorhandene Spuren von Alkalien als Kalk-Alkalität erhalten werden.

Nach den verschiedenen Methoden ergab die Analyse eines gebrannten Kalksteins:

1. nach Frühling und Schulz . . . . 89,1 % gesamte Erden,
2. nach König . . . . 78,96% freie und teilweis gebundene Erden,
3. nach Scheibler - Seyffart . . . . 76,02% Summa des reinen freien Ätzkalkes,
4. nach Stiepel (Tabletten) . . . . 75,0 % annähernder freier Ätzkalkgehalt,

[1]) Dr. Frühling und Schulz „Anleitung zu Untersuchungen für die Zuckerindustrie“, 4. Aufl., S. 247 ff.

5. nach Stiepel (erbsengrosse Stücke) . . . 64,7 % grösster Teil freien Ätzkalkes.

Bei den Angaben 1—3 sind infolge der Titration die im Kalk enthaltenen Spuren von Alkali mit einbegriffen.

Die grosse Differenz von 3 zu 1 und 2 beruht, wie Seyffart nachgewiesen hat[1]), in dem in Zuckerlösung ungelöst bleibenden Tonerdekalk und Kieselsäurekalk ($Al_2Ca_3O_6 + 3H_2O$ und $Ca_2SiO_4 + 2H_2O$), welche Verbindungen bei der Hauptscheidung der Rübensäfte und bei hoher Alkalität derselben nicht mitscheidend wirken, bei weitgehender Saturation mit Kohlensäure oder schwefliger Säure aber zerlegt werden und gelatinöses, im vorhandenen Kali sich lösendes Tonerdehydrat und Kieselsäurehydrat abgeben, die eine starke Viskosität der eingedickten Zuckersäfte bewirken.

XI.

Aspiratoren zur dauernden Entnahme der Rauchgase.

Zu einer guten Kontrolle des Betriebes einer Feuerungsanlage gehört, dass die Feuergase nicht bloss zeitweilig, sondern möglichst fortlaufend untersucht werden. Dies würde bei öfterer Gasentnahme im Kesselhause mittelst des beschriebenen kleinen Glasflaschen-Aspirators sehr zeitraubend werden; auch entspricht die damit entnommene Gasprobe nur einer sehr kurzen Betriebsdauer der Feuerungsanlage.

Den besagten Zweck erreicht man besser, wenn man *grosse* Aspiratoren benutzt, die im Laboratorium aufgestellt werden und zur Ansaugung der Feuergase durch eine passende Rohrleitung mit dem Kesselhaus verbunden sind. Zu dieser Leitung eignet sich sehr gut ganz schwaches Kupferrohr von 5 und 3 mm äusserem und innerem Durchmesser, sowie auch das für pneumatische Klingeln in Anwendung kommende Bleirohr von etwa 10 mm äusserem und 5 mm lichtem Durchmesser.

---

[1]) Scheiblers „Neue Zeitschr. f. Rübenzuckerind." 1879, III, 233 ff.; ebenfalls „Die Deutsche Zuckerindustrie" 1879, No. 43—45.

Um hierbei jederzeit einen beliebigen Kessel kontrollieren zu können, wird oberhalb der einzelnen Kessel eine $^1/_4$ zöllige Gasrohrleitung gelegt mit je einem $^5/_8$ zölligen Stutzen und einem gleichfalls $^5/_8$ zölligen Gasventil für Jenkinsdichtung; kleinere Gasventilchen halten selten auf die Dauer dicht. Die angeschlossene Zuleitung zu jedem Kessel teilt sich für die beidseitigen Feuerzüge derart, dass die Abzweigungswege bis in die Züge gleich lang sind, damit aus beiden Zügen infolge gleicher Reibungswiderstände annähernd gleiche Gasmengen gleichzeitig abgesogen werden. Bei sehr langer Anschlussleitung nach dem Laboratorium an das $^1/_4$ zöllige Gasrohr ist zur Vermeidung eines zu grossen Leitungsinhaltes das nur 3 mm weite Kupferrohr vorzuziehen.

Eine Gasentnahme aus dem Fuchs ist nur zulässig, so lange kein Kessel ausser Betrieb ist, durch dessen Feuerzüge grosse Mengen atmosphärischer Luft eindringen können, und wenn sonstige Zugänge, wie Kesselschieberschlitze, Mauerritzen etc. dauernd gut abgedichtet sind. Ausserdem ist streng darauf zu achten, dass die Gasentnahmerohre an ihrer Durchführung durch die Kessel- oder Fuchsmauerung völlig luftdicht eingesetzt werden.

Man hat mehrerlei solche Aspiratoren konstruiert. Zuerst soll derjenige beschrieben werden, der ähnlich dem kleinen Aspirator aus zwei von einander unabhängigen Gefässen besteht und den wir den „*grossen Flaschen-Aspirator*“ nennen wollen.

Die Gefässe sind Zylinder von etwa 50 cm Höhe und 22 bis 23 cm Durchmesser, sodass der Rauminhalt jeder Flasche rund 20 Liter beträgt; sie werden zweckmässig aus starkem Zinkblech hergestellt. In halber Höhe sind die Flaschen durch einen aufgelöteten breiten Blechring verstärkt, auf dem zwei Handgriffe aufgenietet sind. Die Deckel der zylindrischen Gefässe müssen aus besonders starkem Blech gefertigt sein, damit sie beim festen Einsetzen der durchbohrten Verschlussstöpsel genügenden Widerstand leisten, und sind mit je einem etwa 45 mm weiten Rohransatz versehen. Der untere Boden ist vor Beschädigung beim Aufsetzen des infolge der Glyzerinfüllung etwas schweren Gefässes durch einen angenieteten Eisenblechkranz geschützt und haltbar gemacht.

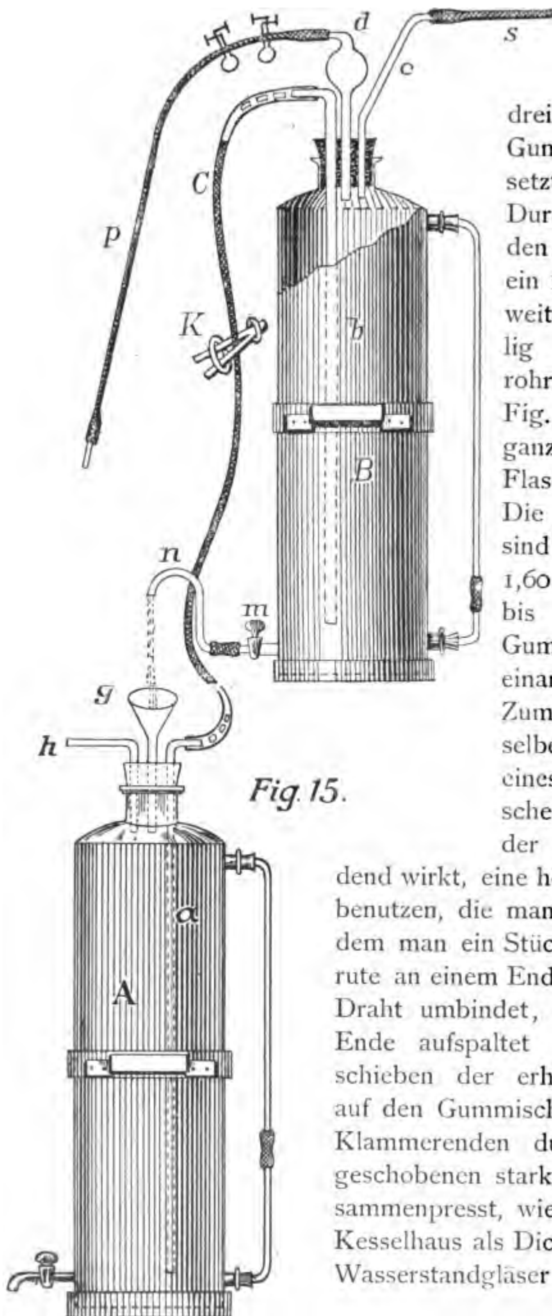


Fig. 15.

In die Halstülle einer jeden Flasche wird ein dreifach durchbohrter Gummistopfen eingesetzt. Durch die grösste Durchbohrung der beiden Stopfen führt je ein 11 mm im Lichten weites oben rechtwinklig gebogenes Glasrohr a und b (siehe Fig. 15); das bis nicht ganz zum Boden der Flasche herabreicht. Die beiden Glasrohre sind durch einen etwa 1,60 m langen und 11 bis 12 mm weiten Gummischlauch C miteinander verbunden. Zum Abschliessen desselben kann man statt eines grossen Mohrschen Quetschhahnes, der leicht einschneidend wirkt, eine hölzerne Klemme k benutzen, die man sich herstellt, indem man ein Stück starker Weidenrute an einem Ende fest mit dünnem Draht umbindet, dann das andere Ende aufspaltet und nach Überschieben der erhaltenen Klammer auf den Gummischlauch die beiden Klammerenden durch einen übergeschobenen starken Gummiring zusammenpresst, wie solcher in jedem Kesselhaus als Dichtungsring für die Wasserstandgläser gebraucht wird.

Diese Holzklemme beschädigt den Gummischlauch infolge ihrer breiten Druckfläche nicht so leicht und schliesst sicher ab.

Da die beiden Flaschen beim Gebrauch, ebenso wie die des kleinen Aspirators, abwechselnd die eine hoch und die andere niedrig gestellt werden, so knickt hierbei der schon etwas weite Schlauch C vor der Mündung der Glasrohre leicht ein. Man vermeidet dies, wenn man an dieser Stelle 2 oder 3 ganz kurze an den Enden abgeschmolzene Glasrohrstücke von der lichten Weite des Schlauches in denselben dicht hinter einander hereinschiebt.

In den durchbohrten Pfropfen der Flasche B wird ferner das zweimal stumpfwinklig gebogene 6—7 mm weite Glasrohr c eingesteckt, das durch einen etwa 1 m langen starkwandigen Gummischlauch s mit der kupfernen oder bleiernen Saugleitung verbunden wird, deren im letzteren Falle bedeutend stärkeres Ende durch Einlöten eines dünnen Messingröhrchens zum Aufschieben des Gummischlauches geeignet gemacht wird.

In die dritte Bohrung des Gummistöpsels der Flasche B wird ein einmal gebogenes Kugelrohr d eingesetzt, das zur Probeentnahme des Gases dient und zu dem Zwecke mit einem etwa 0,6 m langen 4 mm weiten Gummischlauch p, dem sogenannten Probierschlauch, und einer Glasspitze versehen ist. die zur Verbindung mit dem uns bereits bekannten Gummischlauchstück f der Hempelschen Messbürette geeignet ist. Da vor dem Ansaugen der Rauchgase die Flasche B aus Flasche A, durch Höherstellen der letzteren, — also umgekehrt wie in der Figur — bis zum Sichtbarwerden des Flüssigkeitstandes in den Röhren c und d mit dem wiederum als Saug- und Druckflüssigkeit benutzten Glyzerin angefüllt werden muss, und da das Ansteigen desselben in den beiden Röhren infolge der weiten Heberleitung C ziemlich schnell erfolgt, so muss das Saugrohr c um einige Centimeter das Probierrohr d überragen, um ein Übersteigen des Glyzerins in die Saugleitung auszuschliessen. Durch die Glaskugel des Rohres d wird in dieser die Schnelligkeit des Aufstieges insoweit vermindert, dass man den anschliessenden

Probierschlauch p schliessen kann, bevor noch Glyzerin in diesen eintritt.

Es ist noch hervorzuheben, dass alle Gummischlauchverbindungen mit Bindfaden oder dünnem Kupferdraht gut zu verschnüren sind.

Der Schlauch p ist während des Ansaugens der Rauchgase vor der Mündung des Kugelrohres d durch 2 kurz hintereinander angeordnete Quetschhähne abzuschliessen. Dieser doppelte Verschluss ist durchaus nötig, da ein einziger Quetschhahn hierbei leicht zu Undichtheiten Veranlassung gibt. Da beim Ansaugen der Kesselgase die Saugleitung s natürlich unter beträchtlicher Luftleere stehen muss, nämlich unter höherer, als der Zugstärke im Fuchs entspricht, so entgeht man der Gefahr des Diffundierens atmosphärischer Luft durch die Schlauchwandung, indem man den Gummischlauch s und ebenso auch p möglichst dickwandig wählt.

Die zweite Durchbohrung des Gummistopfens der Flasche A dient zum Einsetzen eines kurzen, winkelig gebogenen Glasrohres h, um die Verbindung des Inneren der Flasche mit der äussern atmosphärischen Luft herzustellen. In die dritte etwas weitere Durchbohrung des Stöpsels wird ein Trichter g eingesetzt.

Beide Aspiratorflaschen A und B erhalten Wasserstände. Die betreffenden Tüllen zum Einsetzen der Gummistöpsel mit den Glasröhren müssen inwendig glatt sein, was deshalb besonders bemerkt wird, weil ungeschickte Klempner hier die Innenkante des übergelegten Tüllenbleches meist scharfkantig stehen lassen und dann selbst mit Gummistöpseln ein luftdichter Verschluss schwer möglich ist.

Ferner ist noch an jeder Flasche dicht über dem Fussring ein kleiner Ablaufhahn angebracht. Der Hahn m an Flasche B ist statt des Hahnschnabels mit geradem Rohrauslauf versehen, um an diesem ein schwanenhalsförmiges Glasrohr n befestigen zu können, welches zu verhüten hat, dass nach Ablauf des Glyzerins schliesslich atmosphärische Luft durch den Hahn von unten in die Flasche eintritt. Die Ablaufmündung dieses Rohres n muss natürlich auch höher liegen

als das untere Ende des Rohres b, damit dieses nicht zuletzt leer läuft.

Um nun sicher zu sein, dass man beim Ansaugen der Feuergase keine atmosphärische Luft infolge von Leitungsundichtheiten mitbekommt, nimmt man folgende Prüfung vor: Man stellt die bis über den grossen Gummistopfen mit Glyzerin angefüllte Flasche B auf einen etwas hohen Tisch und die Flasche A auf den Fussboden. Bei geschlossenem Saugeschlauch s und Probierschlauch p wird der Holzklemmverschluss k des Heberrohres C gelöst. Sobald der dem verschiedenen Stand der Flaschen entsprechende Druckausgleich durch den Schlauch C hindurch stattgefunden hat, muss der Flüssigkeitstand in A für etwa $^1/_2$ Stunde unverändert bleiben. Sodann nimmt man die Holzklemme k und verschliesst damit am Ende des Bleirohres im Kesselhaus die Gummischlauchverbindung mit dem in den Feuerzug eingesenkten Eisenrohr. Hierauf wird der Quetschhahn des Saugeschlauches s nach dem Bleirohr geöffnet. Der Flüssigkeitstand im Aspirator muss nun ebenso unveränderlich bleiben wie zuvor.

Da die Blei- oder Kupferrohrleitung zwischen Laboratorium und Kesselhaus meist ziemlich lang ausfällt und wohl auch mehrfache Biegungen benötigt, so ist sie in den seltensten Fällen aus einem Stück herstellbar. Man hat dann je zwei dicht zusammenstossende Enden mit passendem dickem Gummischlauch zu verbinden, diese Verbindung durch Schnurenverband zu sichern und schliesslich alle solche Verbindungstellen mit gutem Eisenlack mehrmals zu überstreichen. Da ein Bleirohr nie so glatt ist wie ein Glasrohr, legt sich der Gummischlauch nicht absolut dicht auf und es ist ohne dieses Überstreichen mit Eisenlack eine völlige Dichtheit kaum zu erreichen; noch sicherer und haltbarer stellt man die Verbindung her, indem man die Enden zusammenlötet.

Hat sich die gesamte Leitung als dicht erwiesen, so wird der Klemmverschluss am Kesselzug wieder gelöst, die beiden Rohrenden werden dicht aneinanderstossend durch das Gummischlauchstück verbunden; diese Verbindung wird ebenfalls überstrichen und die Flasche B nunmehr soweit voll Feuergase gesogen, bis Flasche A ziemlich voll Glyzerin

gelaufen ist. Dann schliesst man die Verbindung s mit der Kesselzugleitung, stellt B auf den Fussboden, A auf den Tisch und lässt nach Öffnen der beiden Quetschhähne des Probierschlauches p das noch mit atmosphärischer Luft aus dem Bleirohr gemischte Gas entweichen.

Nach einmaligem Wiederfüllen und Wiederentleeren der Flasche B mit Feuergasen in gleicher Weise werden bei der dritten Füllung nur reine Rauchgase einströmen. Schon während der ersten beiden Füllungen versäume man nicht, das Glyzerin mit dem Gas öfters durcheinander zu schütteln, um es mit den absorbierbaren Gasen möglichst zu sättigen. Man tut gut, zu diesem Zwecke noch mehrere Gasfüllungen in gleicher Weise und besonders bei erst $^1/_3$ bis $^1/_2$ Füllung der Flasche B auf das darin befindliche Glyzerin einwirken bezw. damit stehen zu lassen; denn die grosse Menge des mit etwas Wasser versetzten Glyzerins absorbiert ziemlich viel Kohlensäure, ehe die Sättigung erfolgt ist.

Diese Sättigung erkennt man am sich gleichbleibenden Kohlensäuregehalt der eingeschlossenen Gase auch nach längerem Stehen. Man kann auch durch vorsichtiges Ausschalten des grossen Aspirators — ohne hierbei rückwärts Luft in die Bleileitung ansaugen zu lassen — und Vorlegen des schon länger benutzten kleinen Glasflaschen-Aspirators sehr bald prüfen, ob mittelst des letzteren ein höherer oder der gleiche Kohlensäuregehalt erhalten wird.

Ist dieser letztere Punkt erreicht, so kann die dauernde Kontrolle des Kesselfeuerungsbetriebes beginnen, die nach der gegebenen Beschreibung des Apparates zwar aus sich selbst folgt, jedoch hier kurz zusammengefasst wiedergegeben werden soll.

Man schliesst die Klemme k des Heberschlauches C, stellt B auf den Tisch und A auf den Fussboden, sodass der Auslauf des Rohres n über dem Trichter g sich befindet. Nun öffnet man den Hahn m soweit, dass ein dünner Strahl von Glyzerin aus B nach A läuft, wonach die Rauchgase allmählich in die Flasche B angesaugt werden. Man kann auch den Zufluss der Rauchgase bei völlig geöffnetem Hahn m mittelst

des Saugeschlauches s unter Benutzung eines Schrauben-Quetschhahnes regulieren.

Mit dem Sinken des Flüssigkeitspiegels in B und Steigen desselben in A wird der Flüssigkeitsdruck von B nach A natürlich geringer, sodass zeitweise ein Nachregulieren entweder des Hahnes m oder des Regulierquetschhahnes der Zuleitung s nötig wird.

Ist die Flasche B bis zur Niveauhöhe des Rohres n leer gelaufen, so hört der Auslauf von selbst auf. Man schliesst dann zu beliebiger Zeit den Saugstrang s und den Hahn m sowie die Klemme k, stellt B auf den Fussboden, A auf den Tisch, öffnet die Klemme k wieder und kann nun das unter Druck befindliche Gas durch den Probierschlauch p wie üblich in die Hempelsche Gasbürette überführen.

Mit Hülfe dieses grossen Flaschen-Aspirators ist es bequem erreichbar, einen 10stündigen Durchschnitt der Rauchgase zu entnehmen, sodass man hiernach imstande ist, die Beheizung der Kessel während einer Arbeitschicht genau zu kontrollieren.

Bezüglich der etwas ausführlichen Erörterung der Arbeit mit dem grossen Aspirator mag zur Entschuldigung dienen, dass es hierbei die Absicht war, demjenigen, der eine dauernde Kontrolle der Kesselfeuerung einrichten will, die zuweilen eintretenden anfänglichen Schwierigkeiten möglichst zu ersparen.

Aspiratoren mit Saug- und Druckgefäss in fester Verbindung.

Durch Dr. Drawe ist seiner Zeit unter der Überschrift „Beitrag zur Kesselhauskontrolle“ im „Centralblatt für die Zuckerindustrie“ 1894/5, Heft 21, S. 448, ein Aspirator beschrieben, der aber schon früher von Hempel angewendet worden ist, bei welchem die zwei Gefässe A und B nach Art der bekannten Laboratorium-Gasometer fest mit einander verbunden sind. Da dieser Apparat mehrfach Aufnahme gefunden

hat, lasse ich der Einfachheit halber die Beschreibung nach Dr. Drawe folgen.

„Der Apparat ist ein Aspirator, der aus zwei fest mit einander verbundenen zylindrischen Gefässen aus verzinktem Eisenblech besteht; in nachstehender Skizze sind sie mit O und U bezeichnet. Ihr kubischer Inhalt beträgt je 5 Liter.

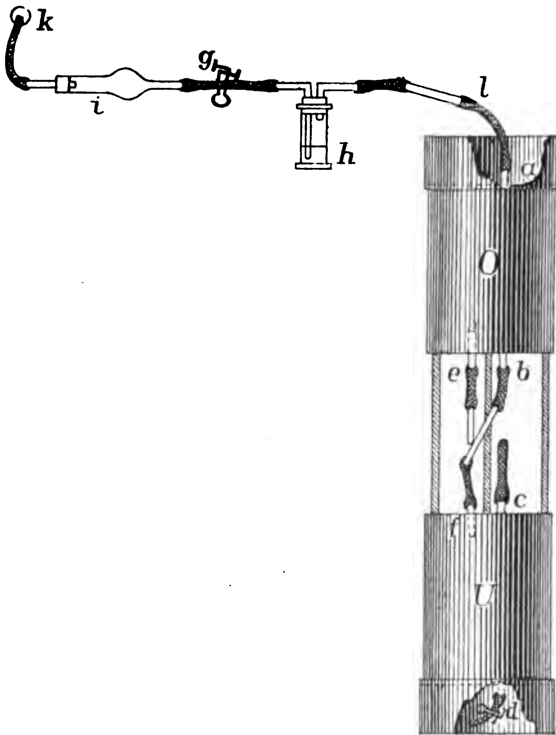


Fig. 16.

Oben und unten sind Blechstreifen von 8 cm Breite angelötet, die als Füsse dienen. An dem Apparat befinden sich folgende Stutzen von aus Blech gebogenen und gelöteten Röhrchen von 6 mm äusserem Durchmesser und 20 mm Länge: je ein Stutzen a, b, c, d, an den vier ebenen Böden der beiden zylindrischen Blechgefässe und gerade mit den Böden abschneidend und ausserdem an den nach innen gerichteten

Böden zwei Stutzen e und f und 3 cm in das Innere der Gefässe hineinragend.

Zum Verbinden und Verschliessen der Gefässe dienen Gummischlauchenden von 10 cm Länge, die auf die Stutzen aufgeschoben werden, ferner kurze Glasröhren zum Verbinden der Gummischläuche und Mohr'sche Quetschhähne.

Die Handhabung des Apparates gestaltet sich folgendermassen: Vor Beginn der Rauchgasprobenahme füllt man das Gefäss O vollständig mit Glyzerin von 18 bis 19° Bé; indem man dieses bei e eintreten lässt und a öffnet. Ist das Gefäss O gefüllt, so schliesst man a und e, stellt die Verbindung b f mittelst zweier Gummischlauchenden und einem Glasrohr her und öffnet c. Nachdem man das Rauchgas durch das in den Rauchkanal führende Porzellanrohr k, durch das Wattefilter i und die Waschflasche h mit Hülfe einer bei l angebrachten Gummiballluftpumpe angesaugt hat, verbindet man l mit a, öffnet a und schliesst den Schraubenquetschhahn g soweit, dass etwa jede Sekunde ein Gasbläschen durch die Waschflasche h geht. Unter diesen Verhältnissen saugt der Aspirator 10 bis 12 Stunden, also eine Arbeitschicht. Es kommt vor, dass man den Schraubenquetschhahn g während dieser Zeit etwas weiter öffnen muss, um einen gleichmässigen Durchgang des Gases beizubehalten. Während des Abschlackens der Planroste (bei Steinkohlenfeuerung) wird das Saugen durch Schliessen des Quetschhahnes bei a unterbrochen. Ist das Glyzerin von O nach U gelaufen, so bewirkt die innere Verlängerung des Stutzens f, die dann in das Glyzerin eintaucht, den sicheren Abschluss des Rauchgases von der atmosphärischen Luft.

Bevor man zur Analyse schreitet, schliesst man alle Stutzen ab, löst die Verbindung a l und dreht den Aspirator um. Stellt man nun die Verbindung e c her, öffnet d und verbindet b mittelst Gummischlauches mit einer Bunte'schen Bürette, so hat man das Gas unter Druck und kann die Bürette bequem damit füllen.

Nach beendigter Analyse löst man die Verbindung von b mit der Bürette und lässt das Glyzerin vollends nach O laufen. Darnach ist der Apparat zur nenen Aufstellung fertig. Doch

überzeuge man sich jedesmal, ob O wirklich gefüllt ist, weil das Volumen des Glyzerins und der Gefässe sich bei Temperaturschwankungen ändert."

Nach dieser Beschreibung scheint die Einschaltung eines Aschenfängers nötig gewesen zu sein. Ich habe meinerseits trotz anhaltenden Saugens nie eine Ansammlung von Asche in der Rohrleitung bemerken können, wobei jedoch das eiserne Saugrohr etwa 2 m lang ist, senkrecht in den Kanal einmündet und an dieser seiner Mündung etwas abgeschrägt ist, derart, dass die seitliche Rohröffnung sich nach der Seite der Zugrichtung befindet. Die von Dr. Drawe angewendete Waschflasche ist jedenfalls zur Regulierung der Gasstromstärke

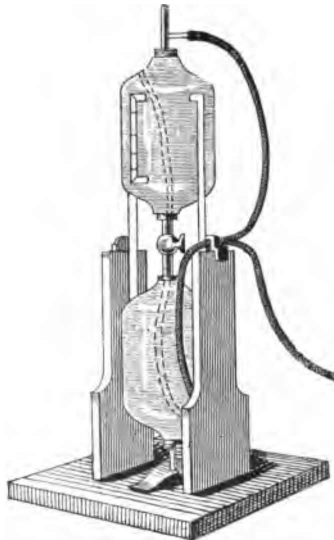


Fig. 17.

ganz vorteilhaft. Auch bei dem von ihm beschriebenen Apparat lässt mit abnehmender Drucksäule des Glyzerins die Stromstärke des angesaugten Gases nach, sodass hier der Quetschhahn g ebenfalls mit der Zeit etwas weiter geöffnet werden muss.

Diesem Aspirator ganz ähnlich ist der *Doppelaspirator* von Robert Muencke, bei dem die beiden Gefässe aus oben und unten mit Hals versehenen Glas- oder Blechflaschen bestehen, die nach Art der vorstehenden Skizze durch einen

Bügel mit einander fest verbunden sind, der zu beiden Seiten in eine auf einen gusseisernen Bock gelagerte Achse ausläuft, um welche die beiden Flaschen geschwenkt werden können, sodass durch diese Schwenkung um die festgelagerte Achse das Umstellen der beiden Flaschen sehr erleichtert wird. Es ist sodann noch ein besonderer, mehrfach durchbohrter, auf dem Lagerachsenbock befestigter Hahn vorhanden, der durch 2 Schläuche mit dem Inneren der beiden Flaschen in der skizzierten Weise in Verbindung gebracht wird. Eine verschiedene Drehung des Hahngriffes gestattet, die gewünschte Verbindung des Inneren je einer Flasche mit der Druckleitung oder der Atmosphäre herzustellen und dagegen die andere Flasche mit dem Saugstrang in Verbindung zu bringen.

Der Apparat darf jedoch nur unter steter Aufsicht in Tätigkeit bleiben, da ohne jene bezw. ohne Schliessen des mittleren Verbindungshahnes der beiden Flaschen zur richtigen Zeit, ein Übertreten der Flüssigkeit in den Gasdruckschlauch und Auslaufen durch denselben unvermeidlich ist.

Schliesslich sei noch des *Aspirator-Gasometers* gedacht, der vielerlei Vorzüge vor den übrigen Aspiratoren besitzt.

Derselbe besteht einfach aus einem blechernen, unten offenen Gasometer, der in ein etwas grösseres, oben offenes Gefäss eintaucht, das mit Glyzerin gefüllt ist. Sein Gewicht wird durch ein Gegengewicht nahezu ausgeglichen, das an einer über 2 Rollen laufenden Schnur hängt, die an der Deckelmitte des Gasometers befestigt ist. Bevor Gas eingeleitet wird, steht der Gasometer auf dem Boden des äusseren Gefässes auf und taucht bis etwas über den Deckel in Glyzerin ein. Der Deckel ist mit einem Saug- und einem Druckstutzen versehen, die genügend lang sind, um beim tiefsten Stand des Gasometers über den Rand des äusseren Gefässes hervorzuragen. Der Druckschlauch erhält zum luftdichten Abschluss 2 Quetschhähne. Der Saugeschlauch, der mit der Bleileitung nach dem Rauchkanal verbunden wird, erhält zur Regulierung des Gaszutrittes einen Schraubenquetschhahn. Das Gegengewicht besteht aus 2 Teilen, wovon das eigentliche Gegengewicht des Gasometers etwas leichter ist als dieser, sodass derselbe von selbst im Glyzerin bis zum Boden des äusseren Gefässes heruntersinkt.

Soll nun Rauchgas eingesaugt werden, so wird auf dieses Gegengewicht noch ein zweites aufgelegt, wodurch der Gasometer aufzusteigen bestrebt. Dies kann aber nur in dem Masse geschehen, als der Schraubenquetschhahn Rauchgas in den Gasometer eintreten lässt. Der Auftrieb des Gasometers oder die Zuströmung von Rauchgas bleibt hier von Anfang bis zuletzt sich ganz gleich, abgesehen von der geringen Gewichtsvermehrung des Gasometers infolge Heraustreten desselben

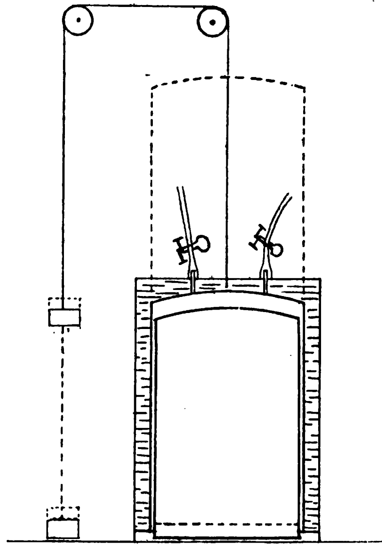


Fig. 18.

aus dem Glyzerin. Bevor derselbe sich über den Glyzerinspiegel erhebt, muss das Gegengewicht auf eine Unterlage zum Aufsitzen kommen.

Wie man sieht, ist diese ganze Vorrichtung sehr einfach, und auch die stets gleichmässige Gaszuführung ist hier erreicht. Nur der eine Nachteil ist vorhanden, dass das Glyzerin niemals vollkommen sich mit Kohlensäure sättigen wird, da es der atmosphärischen Luft in dem äusseren Gefässe eine nicht geringe Oberfläche darbietet, sodass hier die Kohlensäure zum Teil wieder abdunsten kann. Um diesen Nachteil möglichst zu vermeiden, dürfte es zweckmässig sein, wenn das äussere Gefäss

innen, einige Zoll unter dem oberen Bord einen Blechring erhält, der nur wenig Zwischenraum zwischen sich und dem Gasometer übrig lässt. Auf diese Weise ist die über dem Blechring befindliche, mit der Luft unmittelbar in Berührung stehende Glyzerinschicht von der darunter befindlichen mit Kohlensäure annähernd gesättigten Schicht einigermassen getrennt und der Austausch beider Schichten erschwert.

In ganz ähnlicher Weise, nur noch mit einem fast die ganze Innenfläche der Flüssigkeit abdeckenden Schwimmer im Innern des Gasometers, ist der sogn. Ridder'sche Rauchgassammler[1]) konstruiert, wodurch der Kohlensäure nur noch eine schmale ringförmige Oberfläche der Flüssigkeit im Innern des Gasometers dargeboten und daher deren Absorption auf ein weit geringeres Mass herabgedrückt wird.

Für jede Kesselanlage müsste man eigentlich einen besonderen Aspirator aufstellen, wodurch natürlich betreffs der Kontrolle der einzelnen Feuerungen die beste Sicherheit geboten wird. Da jedoch die Zusammenstellung der Rauchgase auch bei sehr guter Befeuerung der Kessel ziemlich beträchtlich schwankt, so kann man sich auch schon aus der durchschnittlichen Zusammensetzung der Fuchsgase ein annäherndes Bild von der Verbrennung machen, wenn man zuweilen mit Hülfe des kleinen Aspirators die durchschnittliche Differenz des Kohlensäuregehaltes in den Kesselzügen selbst, mit dem mittelst des grossen Aspirators in den Fuchsgasen ermittelten Gehalt feststellt und im Übrigen auf möglichstes Abdichten aller Öffnungen und Ritzen der Kessel- und Fuchsvermauerungen achtet.

Es sei schliesslich noch derjenigen Apparate gedacht, die den jeweiligen Kohlensäuregehalt vermittelst eines Zeigers an einer Skala anzeigen.

Der älteste dieser Apparate ist die Lux'sche Gaswage (Fig. 19), die in ihrer einfachsten Form aus einem auf Stahlschneiden spielenden Wagebalken besteht. Die eine Seite des Wagebalkens trägt eine Kugel aus Glas oder Metall, durch

---

[1]) Dieselben sind durch die Firma Boos & Co., Bonn, erhältlich.

welche kontinuierlich das zu untersuchende Gas geleitet wird. Die andere Seite trägt ein verschiebbares Gegengewicht und läuft in eine Spitze aus, die vor einer Skala spielt. Der Vorzug dieser Gaswage gegenüber den weiterhin beschriebenen

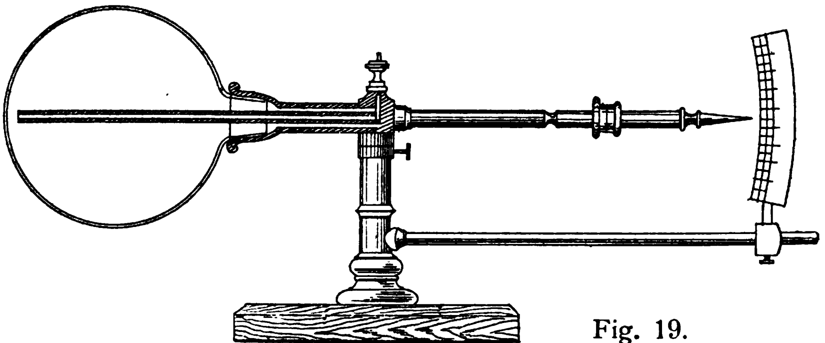


Fig. 19.

besteht besonders in dem durch Quecksilber hergestellten Abschluss des Untersuchungsgases von der atmosphärischen Luft.

Neueren Datums ist das *Dasymeter von Siegert & Dürr* und das *Ökonometer von Arndt.*

Beim ersteren umspülen die Rauchgase eine mit atmosphärischer Luft gefüllte Kugel. Je nach der Schwere des

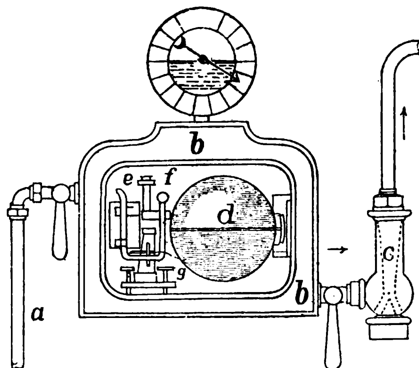


Fig. 20.

Rauchgases entsteht ein Auftrieb, der zur Bestimmung des Gehaltes an Kohlensäure benutzt wird. Die vorstehende Figur gibt die Konstruktion des Apparates der Hauptsache

nach wieder. Die Gase werden von den Kesselzügen nach Durchstreichen eines Wattefilters durch die Rohrleitung a in den die Wage enthaltenden luftdichten Glaskasten b mittelst der Dampfstrahlpumpe c ein- und nach dem Schornstein abgesaugt; d ist eine mit atmosphärischer Luft gefüllte Glaskugel, e, f und g sind Teile eines Kompensations-Apparates, der zur Ausgleichung der Druck- und Temperaturschwankungen dient. Oben auf dem Apparat ist ein Zugmesser angebracht. Von einer Einführung dieser Gaswage in die Industrie ist dem Verfasser nichts bekannt geworden.

Das Ökonometer von Arndt (Figur 21) besteht im wesentlichen aus einer feinen Wage, deren Wagebalken auf

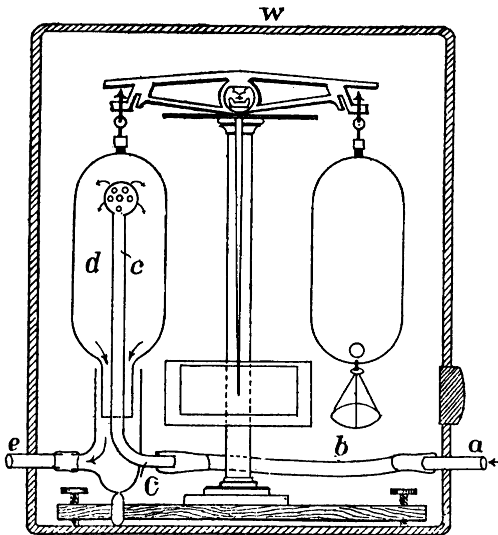


Fig. 21.

der einen Seite mit Wageschale und Gewichten, auf der anderen Seite mit einem offenen Glasgefäss d belastet ist. Letzteres wird von dem zu untersuchenden Gase durchströmt, das durch die Rohrleitung a, den Schlauch b und das Kniерohr c durch das Gefäss d hindurch und bei e abgesaugt wird.

Alle diese Gaswagen sind bezüglich der Feststellung des Kohlensäuregehaltes zweifellos sehr bequem, obschon sie auch etwas teuer sind; sie haben jedoch auch ihre Nachteile.

Vor allem zeigen sie bei der Anwesenheit unverbrannter Gase nicht richtig; sodann ersieht man an ihnen natürlich immer nur den augenblicklichen Gehalt an Kohlensäure, ohne einen sicheren Durchschnitt einer bestimmten Heizperiode zu kennen und ohne zu wissen, wieviel überschüssiger Sauerstoff vorhanden ist, auf dessen Nachweis es sehr wesentlich mit ankommt. Ferner ist bei den Gaswagen noch ein vollkommenes Abfiltrieren des Aschenstaubes durch Wattefilter und auch das völlige Trocknen des Gases mittelst Chlorcalcium nötig, damit die Wage nicht rostet, weshalb auch das Chlorcalcium oft erneuert werden muss. Bei alledem wirkt ein Gehalt an schwefliger Säure im Rauchgas leicht schädigend auf die sehr empfindlichen Wagen ein und dieselben müssen stets sehr sauber gehalten, besonders die Schneiden öfter gereinigt und alle Metallteile jedenfalls, und in grösseren Zeiträumen wiederholt, mit einem feinen Lack überzogen werden. In diesem Falle ist z. B. die Arndt'sche Gaswage nach mir gewordener Mitteilung des Prof. Dr. v. Lippmann sehr brauchbar.

Ein Apparat, der die Rauchgase nicht mit Hülfe eines Wagebalkens, sondern *auf hydrostatischem Wege fortlaufend wägt*, ist der Krell'sche *Rauchgasanalysator.*[1] (Fig. 22.)

Derselbe besteht aus drei Hauptteilen: 1. dem Rohrsystem, 2. dem Differentialmanometer und 3. der Registriervorrichtung.

Ein umgekehrt aufgestelltes U-förmiges Rohr, dessen Schenkel gleich weit und gleich lang sind, steht an dem einen Ende l mit der umgebenden Luft, an dem anderen Ende r mit dem Rauchkanal in Verbindung. An der höchsten Stelle dieses Rohres, genau in der Mitte des Verbindungsbogens der beiden Schenkel, setzt ein drittes Rohr an, welches vermöge einer Wasserstrahlluftpumpe W durch den einen Schenkel fortdauernd Luft, durch den anderen vorher filtrierte und auf Zimmertemperatur abgekühlte Rauchgase gleichzeitig hindurchsaugt.

[1]) Zu erhalten bei G. A. Schulze, Berlin, Fabrik für technische Messinstrumente.

Die Wirkungsweise des Apparates beruht darauf, dass der Gewichts- resp. Druckunterschied der beiden gleich grossen Gassäulen, von atmosphärischer Luft einerseits und von kohlensäurehaltigen Feuergasen andererseits, durch ein höchst empfindliches Manometer fortdauernd gemessen und angezeigt wird. Die Geschwindigkeit der beiden gleich grossen Ströme in den

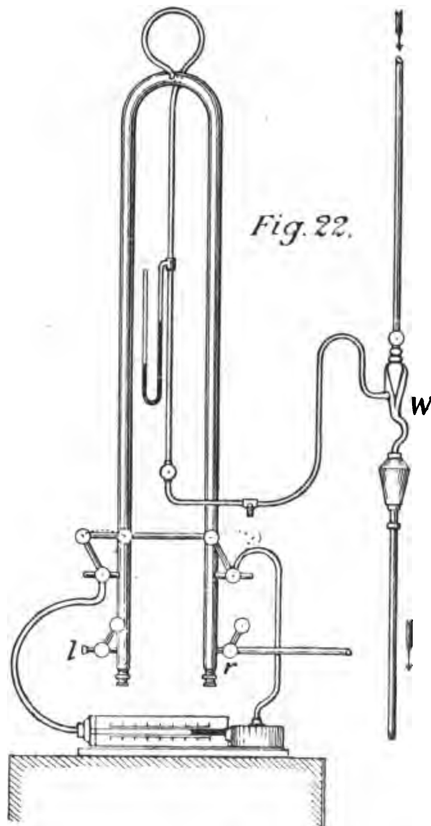


Fig. 22.

beiden Schenkeln wird durch eine sinnreiche Reguliervorrichtung gleichgestellt. Durch dieselbe heben sich die Einwirkungen der Bewegungswiderstände auf das Mikromanometer gegenseitig auf und die Messung kann genau so erfolgen, als wenn die beiden Gase in den Standröhren sich im Ruhestande befinden.

Bei geeigneter Modifikation kann übrigens dasselbe Instrument auch zur Messung der Geschwindigkeiten von Gasen dienen.

Auf demselben Prinzip der hydrostatischen Wägung beruht *ein sehr ähnlicher* aber bedeutend *vereinfachter* Apparat, der neuerdings ebenfalls von genannter Firma in den Handel

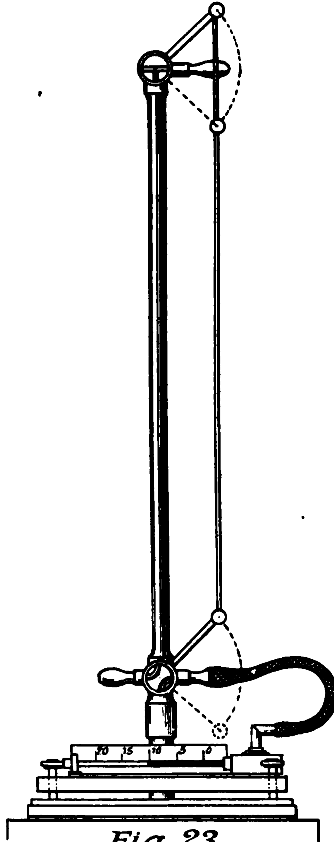


Fig. 23.

gebracht wird. Die Stelle des Rohrsystems vertritt hierbei eine einzige gerade Messingröhre; oben und unten befinden sich zwei Vierweghähne, die mit einander gekuppelt sind und es gestatten, in der einen Stellung die Rauchgase ansaugen zu lassen, in einer anderen dieselben abzuschliessen und vermittelst eines Manometers zu messen.

Verfasser hatte noch keine Gelegenheit, die letztgenannten Apparate zu prüfen.

Die mit den Gaswagen erreichbare Kontrolle ist für normalen Betrieb recht bequem. Bei nicht normalem Betriebe, auf dessen Nachweis es gerade abgesehen ist, versagt die Gaswage sehr leicht. Ihr gegenüber bietet daher die fortdauernde Absaugung der Rauchgase mittelst eines grossen Aspirators und die genaue Untersuchung derselben einen wohl zu schätzenden Vorteil.

Für den Zuckerfabrikations-Betrieb — in welchem man während der Kampagne jederzeit beliebig hohe Luftleeren zur Verfügung hat — *kann man das Ansaugen von Rauchgasen* in ein Gefäss oder das stete Hindurchsaugen der Gase durch ein solches *leichter Weise durch Verbindung mit dem Luftpumpenstrang erreichen.* Schliesst man zeitweilig den Ab- und Zugang zu diesem Gefässe, als welches man beispielsweise die Flasche B des beschriebenen kleinen Aspirators benutzen kann, so ist es leicht, jederzeit eine Probe der Rauchgase in die Hempelsche Messbürette zu überführen.

Von den gerügten Mängeln vollständig frei ist die *Methode der Kohlensäure-Bestimmung mittelst eines Apparates, der selbsttätig auf chemischem Wege den Gehalt der Rauchgase an Kohlensäure fortgesetzt bestimmt und registriert,* des Heizeffektmessers Ados (Patent Arndt) von der „Feuerungs-technischen Gesellschaft, Aachen". Da seine ausführliche Beschreibung den Rahmen dieses Buches überschreiten würde, so will ich nur die wesentlichen Teile des Apparates[1]) besprechen:

Der Heizeffektmesser besteht der Hauptsache nach aus einem Gasbehälter und Messgefäss G_1 (Fig. 24), das von zwei unter sich oben und unten verbundenen gläsernen Rohren G_{1a} G_{1b}, wovon das eine kugelartig erweitert ist, gebildet wird, die mit den Marken m_1 und m_2 versehen und von g_2 ab bis m_2 zur Aufnahme von 100 ccm des zu untersuchenden Gases hergerichtet sind; sodann aus einem Absorptionsgefäss A mit Kalilauge gefüllt; ferner aus einer senkrecht verstellbaren Flasche F

[1]) Zu genauer Orientierung aller Einzelteile des Apparates kann man von der „Ados, Feuerungs-technische Gesellschaft, G. m. b. H., Aachen" das hierfür erhältliche Beschreibungsheftchen beziehen.

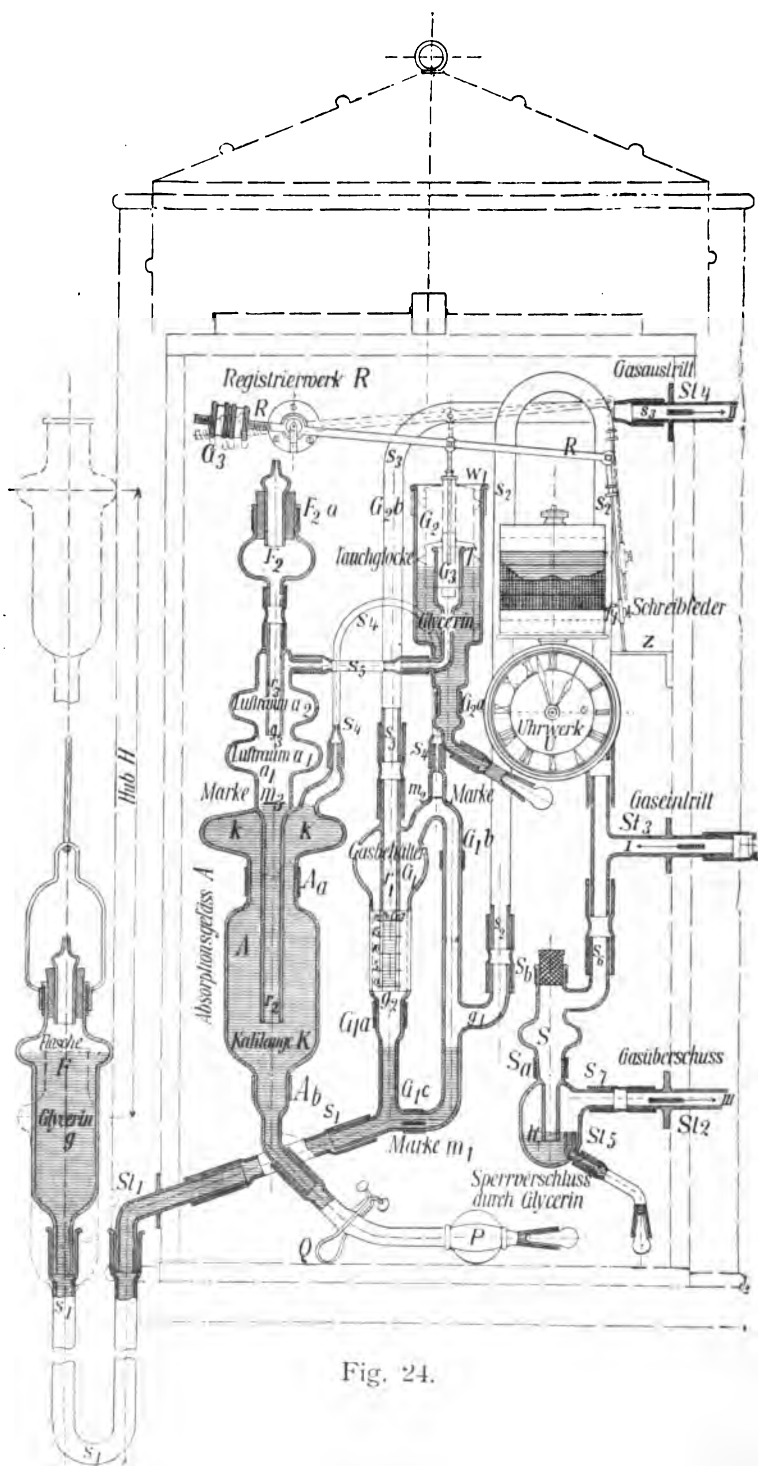

Registrierwerk R
Gasaustritt
St 4
Schreibfeder
Tauchglocke
Glycerin
Luftraum a 2
Luftraum a 1
Marke
Uhrwerk
Gaseintritt
St 3
Gasbehälter
Absorptionsgefäss A
Kalilauge K
Hub H
Flasche F
Glycerin
Gasüberschuss
St 2
St 5
St 1
Marke m 1
Sperrverschluss durch Glycerin

Fig. 24.

mit der aus Glyzerin bestehenden Sperr- und Mess-Flüssigkeit g, und endlich aus der von der kohlensäurefreien Restluft bewegten in Glyzerin schwimmenden Tauchglocke T, dem Hebel R und der Schreibfeder F_1 mit Uhrwerk U.

Ein durch den Schornsteinzug ununterbrochen in Tätigkeit gesetztes automatisches Kraftwerk (Fig. 25) besorgt den gesamten Antrieb des Apparates und reguliert seine Arbeit, indem es vorerst eine kleine doppeltwirkende Gaspumpe in Bewegung setzt. Dieselbe saugt die zu untersuchenden Rauchgase aus dem Kesselzug durch ein in der Nähe des Kesselhauses befindliches Filter hindurch an und drückt sie nach dem Heizeffektmesser, und zwar durch die Rohre St_3 und S_2 in den Gasbehälter G_1. (Fig. 24.) Dieser kleine gläserne Gasbehälter G_{1a} G_1 G_{1b} g_1, der in dem Zwischenraum von g_2 — vom unteren Ende des Rohres r_1 an — bis zur Marke m_2 genau 100 ccm fasst und innerhalb dieses Raumes eine Skala führt, die bis 20 Volumprozente Kohlensäure anzeigt, kommuniziert unten durch eine Rohr- und Schlauchverbindung S_1 mit der vorhin erwähnten verstellbaren Flasche F. Wird diese angehoben, so steigt auch das Glyzerin im Gasbehälter G_1 und drückt die Gasmenge von 100 ccm durch ein luftdichtes Verbindungsrohr S_4 in das Absorptionsgefäss A. Hier kommen die Rauchgase in innige Berührung mit der Kalilauge K, welche begierig die Kohlensäure absorbiert.

Die nicht absorbierten Gase verdrängen die Kalilauge durch ein Glasrohr r_2 in einen über dem Absorptionsgefässe befindlichen besonderen Luftraum $a_1 a_2$ und pressen dort die Luft zusammen. Diese so verdichtete Luft hebt infolge der Verbindung S_5 mehr oder weniger eine in Glyzerin eintauchende Glocke T, die in sinngemässer Weise mit dem Registrierhebel R verbunden ist, der mittelst der Schreibfeder F_1 auf der von einem Uhrwerk bewegten Trommel den Prozentsatz des nicht absorbierten, übrig gebliebenen kohlensäurefreien Gases anschreibt. Es wird also stets die Tauchglocke T um so höher steigen und somit die mit dem Registrierhebel verbundene Schreibfeder F_1 einen *um so längeren Strich* aufzeichnen, *je weniger Volumprozente Kohlensäure* in der abgefangenen und analysierten Feuergasprobe enthalten sind.

Solange das Glyzerin vorerst die untere Marke m_1 im Gasbehälter und sodann den Eintritt g_1 in denselben noch nicht

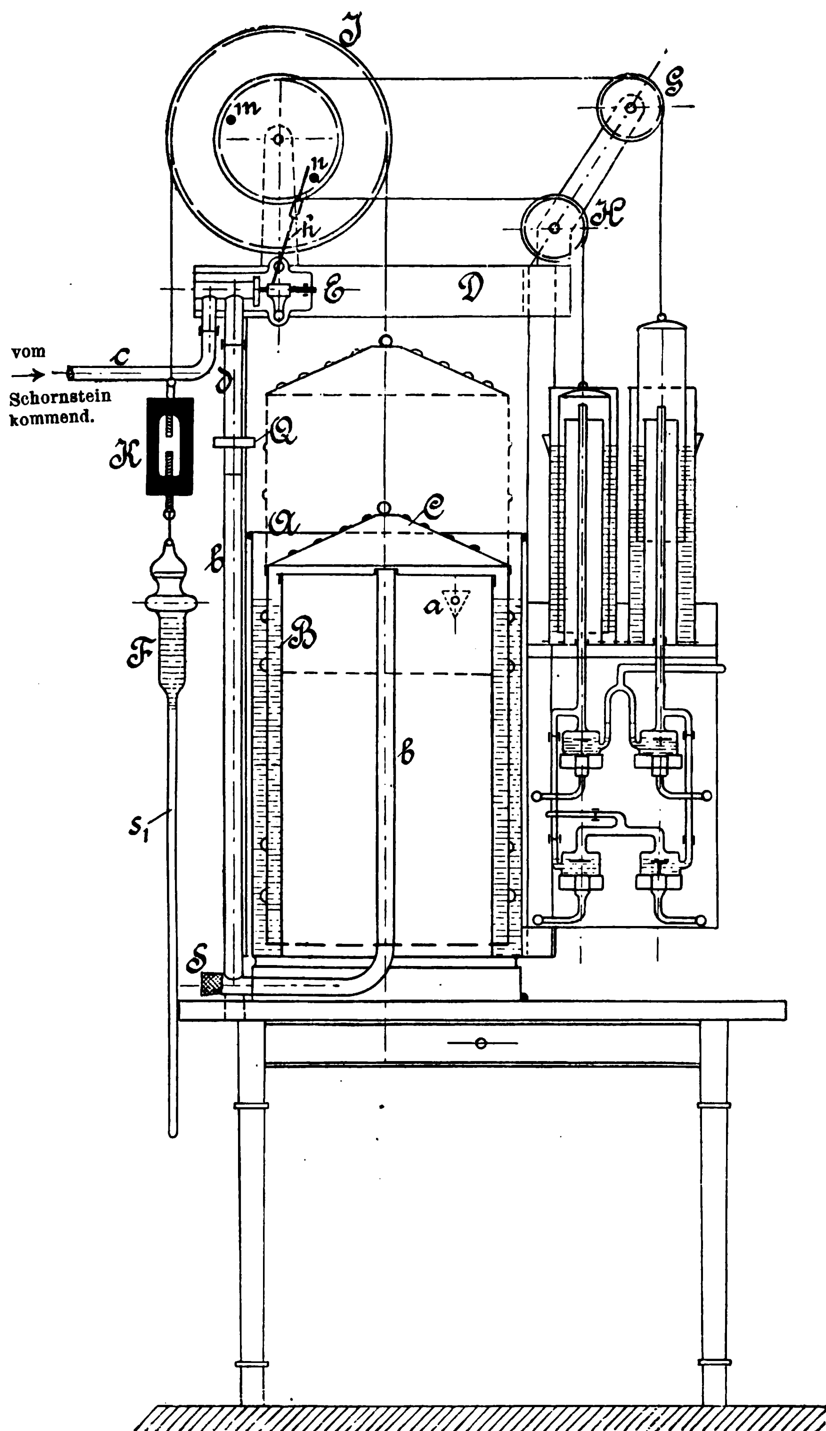


Fig. 25.

überschritten hat, können die durch die Gaspumpe eingeleiteten Rauchgase frei zirkulieren und durch die Rohre r_1 S_3 bei St_4 in die Atmosphäre austreten. Versperrt aber das weiter aufsteigende Glyzerin ihnen bei g_1 und g_2 den Weg, so müssen sie sich von St_3 aus abwärts durch S_6 durch das Sperrgefäss S hindurch den Austritt bei St_2 suchen. Dadurch ist es ermöglicht, dass die sich aneinander reihenden Gasuntersuchungen völlig genau bleiben, obwohl die Gaspumpen während dessen immer weiter arbeiten.

Bei dem niedrigsten automatisch bewirkten Stande der Flasche F muss das Glyzerin im Rohr S_1 genau auf Marke m_1 einstehen, bei ihrem höchsten Stand dagegen auf Marke m_2. Man erreicht dies durch entsprechende Füllung der Flasche F mit Glyzerin.

Die Kalilauge im Absorptionsgefäss A ist auf Marke m_3 einzustellen, und zwar dann, wenn das Glyzerin im Rohre S_1 gerade auf Marke m_1 einsteht. Man füllt dann durch F_2 soviel Lauge ein, bis m_3 erreicht ist. Der Gummiballon P dient zur genauen Einstellung der Lauge auf diese Marke, indem mittelst desselben ein Zuviel abgelassen und ein Zuwenig durch Zusammendrücken desselben und nachfolgendes Schliessen des Quetschhahnes Q korrigiert werden kann. Selbstverständlich muss der Ballon luftfrei gehalten werden, d. h. völlig mit Kalilauge angefüllt sein.

Der Apparat kann in jeder beliebigen Entfernung von der Feuerung aufgestellt werden, nur muss man dabei beachten, *dass in dem Aufstellungsraume eine sich stets nahezu gleichbleibende Temperatur herrscht.*

In dieser Bedingung liegt zugleich nach des Verfassers Erfahrung eine grosse Unsicherheit, *wenn derselben nicht streng entsprochen wird.* Mit wechselnder Temperatur stellt sich nämlich die Nullpunktmarke der Kalilauge stetig verschieden ein. Hat man jedoch die Kalilauge bei anhaltend höherer Temperatur von Neuem auf den Nullpunkt eingestellt, so zeigt der Apparat auch wieder den richtigen Kohlensäuregehalt an.

Der Apparat ist allerdings noch recht teuer, macht sich aber zweifellos bald bezahlt. Natürlich kann derselbe nur zur jeweiligen Kontrolle einer Feuerung dienen! doch

kann man bei Anlegung der weiter oben empfohlenen Hauptsaugleitung über allen Kesseln bequem zeitweilig, vielleicht tageweis, je eine andere Kesselfeuerung zur Kontrolle heranziehen.

Es sei noch bemerkt, dass bei der neueren Ausführung der Ados-Apparate das Sperrgefäss S mit dem Austritt St_2 unmittelbar mit den gläsernen Ventilen der Gaspumpe (Fig. 25) in Verbindung gebracht ist; ferner, dass die letztere, statt aus einem Gasometer mit Umschlaghebel und 2 Pumpenstiefeln, direkt aus 2 kleineren Gasometern gebildet wird, und endlich dass die Lufträume a_1 a_2 mit dem Rohr r_3 einen gesonderten Glasbehälter erhalten haben.

XII.

Allgemeines über die Zusammensetzung der Rauchgase und über die Beziehung ihres Kohlensäuregehaltes zur Temperatur derselben.

Häufig begnügt man sich bei den täglichen Untersuchungen der Rauchgase mit der Kohlensäurebestimmung allein und ebenso wird statt deren auch nur die Sauerstoffbestimmung ausgeführt. Der Grund ist folgender:

Bei der Umwandlung der atmosphärischen Luft in Rauchgas während des Prozesses der Verbrennung der Heizmaterialien ist für jedes Volum Sauerstoff der Luft, das zur Verbrennung des Kohlenstoffes gedient hat, ein gleiches Volum Kohlensäure in den Rauchgasen enthalten, da 1 Vol. Sauerstoff beim Verbrennen mit Kohlenstoff 1 Vol. Kohlensäure bildet. Die Summe der Volumprozente an Sauerstoff und Kohlensäure in den Rauchgasen bleibt sonach immer gleich dem Volumprozentgehalt der atmosphärischen Luft an Sauerstoff, d. h. sie muss etwa die Zahl 20 ergeben (der Sauerstoffgehalt der atm. Luft im Freien beträgt 20,9 %). Die Differenz des gefundenen Sauerstoffes mit dieser Zahl ergibt also annähernd die Menge an Kohlensäure in den Verbrennungsgasen und deshalb kann man aus dem Sauerstoffgehalte derselben, gleichwie aus dem Kohlensäuregehalt, den Verbrennungsprozess ungefähr beurteilen.

Meistens freilich erhält man bei der Addierung der Prozente an Kohlensäure und Sauerstoff weniger als 20 %, und zwar selbstverständlich vorerst in dem Falle, wenn die Verbrennung

eine unvollständige war, sodass noch unverbrannte Gase, Kohlenoxyd und Kohlenwasserstoffe, vorhanden sind; ferner aber auch bei vollständiger Verbrennung, weil das Brennmaterial stets einen merklichen Gehalt an Wasserstoff aufweist, der ebenfalls mit auf Kosten des Sauerstoffes der Luft verbrennt, ohne wie bei der Kohlenstoffverbrennung ein dem Sauerstoffvolum gleiches Gasvolum wiederzuerzeugen. Das hierbei gebildete Wasser ist zwar in den Rauchgasen auch als Gas, als Wasserdampf vorhanden, kommt aber hier bei der Rauchgas-Analyse garnicht in Betracht, wie sogleich erläutert werden soll.

Ein beträchtlicher Gehalt des Feuerungsmaterials an Wasserstoff drückt den Sauerstoffgehalt der Rauchgase herunter und erhöht den Stickstoffgehalt derselben um einen Anteil, welcher der zur Verbrennung des Wasserstoffs benötigten Luftmenge entspricht. Die Beurteilung der Rauchgase nur nach dem Sauerstoffgehalt ist daher um so unrichtiger, je wasserstoffhaltiger das Heizmaterial ist.

Die vorhin aufgestellte Behauptung, dass der Wasserdampf zwar Raum einnehmen, aber bei der volumetrischen Gasanalyse nicht in Betracht kommen soll, klingt wohl etwas befremdlich, ist aber doch unanfechtbar. Der Beweis hiervon soll in folgender Darlegung erbracht werden:

Der Wasserdampf kann als solcher bei atmosphärischem Druck und bei Temperaturen, die unter seinem Kondensationspunkte liegen, nur bestehen, wenn zu seiner Verbreitung ein bestimmter luftleerer oder auch gaserfüllter Raum gegeben ist. Wird dieser Raum von einer genügenden Menge Wasser begrenzt, wie es bei dem über Wasser abgesperrten zur Analyse zu verwendenden Gasvolum der Fall ist, so verbreitet sich der Wasserdampf in solcher Menge in dem Raume, dass er die für die herrschende Temperatur ihm eigene Maximalspannung erreicht und einen genau im Verhältnis dieser Spannung zum Gesamtdruck der Gase stehenden Volumanteil vom Gesamtvolum des feuchten Gasgemisches einnimmt.

Die bei der Analyse in Arbeit genommene Gasmenge von 100 ccm enthält also einerseits einen trockenen Gasanteil und zwar $100 \cdot \frac{D - t}{D}$, wenn D den Gesamtdruck des Gases und t die Tension des Wasserdampfes bei der Temperatur des

Arbeitsraumes bedeuten; andererseits ist in den 100 ccm das Volumen des Wasserdampfes $= 100 - 100 \frac{D - t}{D} = 100 \frac{t}{D}$ ccm enthalten.

Werden jetzt n % des ursprünglichen Volums von 100 ccm durch irgend ein Absorptionsmittel weggenommen, so ist

das Restvolum im feuchten Zustande $= 100 - n$

" " " trockenen " $= (100 - n) \frac{D - t}{D}$

das absorbierte Volum im trockenen Zustande

$$100 \frac{D - t}{D} - (100 - n) \frac{D - t}{D} = n \cdot \frac{D - t}{D}$$

und das auf n entfallende Wasserdampfvolum

$$n - n \cdot \frac{D - t}{D} = n \cdot \frac{t}{D}$$

Dieses Wasserdampfvolum ist, da das zugehörige Volum n des trockenen Gasanteiles nach der Absorption nicht mehr vorhanden, also gleich Null (= 0,0) geworden ist, nach obiger Formel $= 0{,}0 \cdot \frac{t}{D}$, kann daher nicht mehr existieren; dieser Wasserdampf hat sich nämlich in dem Absorptionsgefäss zu Wasser kondensiert.

Berechnen wir ferner den Prozentsatz des trockenen absorbierten Gasanteiles von der ursprünglichen Gesamtmenge an trockenem Gasgemisch, so erhalten wir den Ansatz

$$100 \frac{D - t}{D} : n \frac{D - t}{D} = 100 : x$$

und es ist $x = n$, d. h. die Analyse des feuchten Gasgemisches ergibt in dem nach der Absorption verschwundenen Prozentsatz n desselben zugleich auch den Prozentsatz für das trockene Rauchgas.

Man zieht deshalb die bei der Analyse gefundenen Gasprozente ohne weiteres als Prozente der sog. *trockenen Rauchgase* in Rechnung.

Welcher Kohlensäuregehalt als der günstigste zu einer möglichst vorteilhaften Ausnutzung des Brennmaterials zu gelten hat, hängt natürlich ebensowohl von der Art des letzteren, als auch von der Art der ganzen Feuerungsanlage ab. Im allgemeinen, kann man sagen, ist der beste Prozentgehalt der-

jenige, bei welchem ein gewisser mässiger Überschuss von Sauerstoff, aber niemals ein Gehalt an Kohlenoxyd vorhanden ist.

Bei sehr gasarmen Braunkohlen mit wenig Wasserstoffgehalt wird der vorteilhafteste Kohlensäuregehalt ein ziemlich hoher sein dürfen, sodass man besonders bei einer im Verhältnis zum Dampfverbrauch reichlichen Heizfläche die Verbrennung durch Beschränkung der Zugstärke so regulieren kann, dass die Rauchgase bis zu 18 % Kohlensäure neben 1,5 bis 2 % Sauerstoff ergeben. Bei gasreichen Braunkohlen sinkt der Kohlensäuregehalt der Rauchgase infolge des höheren Wasserstoffgehaltes der Kohle schon an und für sich; ausserdem ist man bei diesen zur vollen Ausnützung ihrer Heizkraft, selbst bei genügender Rost- und Heizfläche, genötigt, einen stärkeren Zug und vermehrten Luftüberschuss zu geben, um eine höhere Verbrennungstemperatur zu erzielen, sodass hierbei der normale Kohlensäuregehalt auf 15 bis 16 % sinken kann, neben einem Sauerstoffgehalt von 2 bis 3 %.

Um die grösste Hitzeentwickelung, die bei Braunkohlenfeuerung auf dem zumeist *vor* dem Kessel liegenden Rost stattfindet, wobei ein nicht unbeträchtlicher Teil der Wärme durch das Mauerwerk verloren geht, mehr direkt unter die Kesselheizfläche zu verlegen, hat man die Halbgasfeuerungen konstruiert, bei denen die Feuergase noch unvollkommen verbrannt bis ziemlich unter die Kessel gelangen und hier durch eine genau regulierbare Zufuhr von vorgewärmter Luft zu intensiver Verbrennung gebracht werden. Die Kontrolle des Sauerstoffgehaltes der Feuergase ist hier um so peinlicher auszuführen nötig, weil ohne diese Kontrolle infolge zu starker Luftzufuhr leicht grosse Verluste entstehen, dagegen bei genauer Regulierung der Luftzuströmung mit möglichst wenig Luftüberschuss in den Rauchgasen der höchste Heizeffekt erreicht werden kann.

Ein Beispiel aus der Praxis von wirklich erhaltenen Anfangstemperaturen, und zwar bei Halbgasfeuerungen, kann im Folgenden gegeben werden:

Die verwendete Braunkohle hatte den geringen Heizwert von 1949 W. E. Die Zugregulierung während des Versuches war derart gestaltet, dass der Kohlensäuregehalt der Rauch-

gase 13 % betrug (der Sauerstoffgehalt ist leider nicht mit bestimmt worden). Hierbei ergab die Ermittelung der Temperatur am Ort der intensivsten Verbrennung rund 1300° C., das ist das Mittel zwischen den Schmelztemperaturen für Nickel (1400° C.) und Kupfer (1200° C.).

Bei Steinkohlenfeuerung ist zu einer guten Verbrennung ein besonders starker Luftüberschuss nötig, wonach der Kohlensäuregehalt der Rauchgase nur noch 11 bis 12 % beträgt.

Entnimmt man die Rauchgase nicht dem letzten Kesselzuge, sondern bei Anlage vieler Kessel zur Kontrolle der gesamten Feuerungen dem Fuchs, wo man das einzusenkende Saugrohr in der stärksten Zugbewegung, d. i. ungefähr in $^3/_4$ der Fuchshöhe endigen lässt, so erhält man natürlich keine reinen Rauchgase mehr, sondern es hat sich denselben durch die undichten Stellen des Mauerwerkes und der Schiebereingänge hindurch kalte atmosphärische Luft, sogen. *falsche Luft* beigemischt. Man hat solche Undichtheiten zu vermeiden oder doch möglichst zu vermindern, da selbst unscheinbare kleine Ritzen noch immer beträchtliche Mengen kalter Luft hindurchlassen. Aber selbst bei aller hierauf gewendeten Mühe bleibt infolge der Schieberzugänge zumeist ein ziemlicher Prozentsatz an zuströmender kalter Luft unvermeidbar, sodass man hierdurch auf eine Erhöhung des Sauerstoffgehaltes der Rauchgase um ca. 1 % bis selbst 2 % rechnen kann, entsprechend einer Luftzufuhr bis zu 10 % und entsprechend einer Erniedrigung des Kohlensäuregehaltes um $1^1/_2$ %.

Es ergab beispielsweise eine Untersuchung der Fuchsgase folgende Zusammensetzung: 15,2 % CO_2 + 2,2 % O + 1,2 % CO + 81,4 % N + 0,0 % Kohlenwasserstoffe.

Hier war ohne Zweifel der Kesselschieber zu eng gestellt. Die trotz Anwesenheit von Kohlenoxyd vorhandenen 2,2 % Sauerstoff können nur erst hinter dem Verbrennungsherde durch undichte Stellen am Schieber u. s. f. hinzugekommen sein; sie entsprechen rund 10,5 % atmosphärischer Luft — (genauer $2{,}2\,\% \cdot \frac{100}{20{,}9} = 10{,}53$) —. Hiernach bleiben 89,5 Vol. reine Rauchgase übrig, die 15,2 Vol. CO_2 + 1,2 Vol. CO enthalten. Dies entspricht einer prozentischen Zusammensetzung von:

$$17{,}0\,\%\ CO_2 + 1{,}35\,\%\ CO + 81{,}65\,\%\ N.$$

Da nun bei der Verbrennung von 1 Vol. CO mit $^1/_2$ Vol. O genau 1 Vol. CO_2 entsteht, so würde bei vollkommener Verbrennung der Kohlen ohne Luftüberschuss folgende Zusammensetzung der Rauchgase erhalten worden sein: 1,35 Vol. CO brauchen 0,67 Vol. O. = rund 0,7 Vol. O. = 3,3 Vol. atm. Luft.

17,0 Vol. CO_2 + 1,35 Vol. CO geben 18,35 Vol. CO_2
81,65 Vol. N + (3,3 — 0,7) Vol. N = 84,25 „ N
Sa. = 102,60 Vol. Rauchgase,

die hiernach prozentisch enthalten = 17,9 % CO_2 + 82,1 % N.

Dies würde nach zuerst mitgeteilter Rauchgasanalyse der höchste Prozentsatz an Kohlensäuregehalt sein, der aus den zur Verbrennung gekommenen Braunkohlen erreicht werden könnte, wenn es möglich wäre, bei völliger Verbrennung der Heizgase ohne jeden Überschuss von Luft zu arbeiten.

Völlig richtig ist diese Berechnnng noch insofern nicht, als nicht sämtliche Kesselfeuerungen genau gleichmässige Rauchgase ergeben, sondern die eine Feuerung mehr, die andere weniger überschüssige atmosphärische Luft oder unverbranntes Kohlenoxyd dem Fuchs zuführt, auch die Kohle auf allen Rosten sich nicht absolut gleich ist. Man kann jedoch schon aus diesem Beispiel entnehmen, dass es nicht möglich ist, den Kohlensäuregehalt der Rauchgase bis nahe an den für die Verbrennung reinen Kohlenstoffes erreichbaren Gehalt zu treiben. Es kommt vielmehr hinsichtlich der Verbrennung auf dem Roste die Tatsache in Betracht, dass ein zu geringer Überschuss an atmosphärischer Luft die pyrometrische Heizwirkung der Kohle d. i. den Hitzegrad auf dem Verbrennungsherde erniedrigt, weil mangels überall genügenden Sauerstoffes die Verbrennung zu langsam vor sich geht; es findet dann mehr ein Glimmen und Schmoren als eine scharfe Verbrennung statt.

In diesem Falle wird die Anfangstemperatur der Gase herabgedrückt, die schwer verbrennlichen Kohlenwasserstoffe gehen zum Teil unverbrannt mit in die Rauchgase über, der Wärmeverlust auf dem Feuerherd selbst macht einen höheren Prozentsatz der Gesamtwärme aus, und es geht aus allen diesen Anlässen mehr Wärme für die Aufnahme in die Kessel verloren, als bei etwas kräftigerer Zugstärke durch einen geringen Luftüberschuss. Rechnen wir diesen Überschuss zu

5—10 % (bei guter Braunkohlenfeuerung) entsprechend 1—2 % Sauerstoff, ferner den trotz guter Abdichtung unvermeidlichen Undichtheiten in den Zügen, im Fuchs u. s. w. hinzukommenden Sauerstoffgehalt der Rauchgase zu 2 %, so würde als durchschnittlicher Kohlensäuregehalt der Fuchsgase für die bei obigem Analysenbeispiel benutzte Braunkohle ein Gehalt von 14,5 bis 15,5 % CO_2 sich ergeben.

Zur Bestätigung dieser Ausführungen seien hier noch einige Fuchsgas-Analysen mitgeteilt

No. 1 —	14,2 % CO_2 +	3,9 % O +	0,0 % CO +	81,9 % N
2 —	13,6 „ +	4,2 „ +	0,0 „ +	82,2 „
3 —	14,2 „ +	4,4 „ +	0,0 „ +	81,4 „
4 —	13,6 „ +	4,4 „ +	0,0 „ +	82,0 „
5 —	14,2 „ +	4,2 „ +	0,0 „ +	81,6 „
6 —	7,4 „ +	12,3 „ +	0,0 „ +	80,3 „

Die letzte Analyse stammt von einer Gasprobe, die bei fast geschlossenen Schiebern während einer Arbeitspause genommen wurde. Man ersieht hieraus deutlich den Einfluss von undichten Stellen des Fuchsmauerwerkes an den Schiebern bei gleichzeitiger sehr schwacher Zuströmung von Rauchgasen. Der Stickstoffgehalt beträgt im Mittel der 5 ersten Analysen 81,8 % und übersteigt bei allen Analysen denjenigen der atmosphärischen Luft (79,1 %), woraus der mehr oder weniger hohe Gehalt der verbrannten Kohle an Kohlenwasserstoffen bezw. an Wasserstoff zu erkennen ist.

Gleichzeitig geht aus den mitgeteilten Analysen hervor, dass es zur *genauen* Beurteilung der richtigen Beheizung eines Kessels nötig ist, die Rauchgase dem *ersten* Kesselzuge zu entnehmen, und dass man aus einer weiterhin bis zum Fuchs sich ergebenden Zunahme des Sauerstoffgehaltes der Rauchgase auf undichte Stellen in der Zugleitung der Rauchgase schliessen kann, ganz ähnlich, wie wir dies früher auch beim Saturationsgas gesehen haben.

Bei den folgenden auf Steinkohlenfeuerung bezüglichen Rauchgasanalysen, die ich der Güte des Herrn Direktor Steffens in Glogau (ehemals Lüben, woher noch die Analysen stammen) verdanke, sind die Gase dem ersten Kesselzuge entnommen; die Zahlen lassen erkennen, mit wieviel grösserem Sauerstoff- bezw. Luftüberschuss bei Steinkohle gefeuert wird:

No. 1 —	12,0 % CO_2 +	5,4 % O +	82,6 % N
2 —	10,8 „ +	7,4 „ +	81,8 „
3 —	10,0 „ +	8,3 „ +	81,7 „
4 —	11,0 „ +	7,0 „ +	82,0 „
5 —	8,3 „ +	8,9 „ +	82,8 „
6 —	7,2 „ +	10,8 „ +	82,0 „
7 —	9,7 „ +	9,1 „ +	81,2 „
8 —	12,2 „ +	5,4 „ +	82,0 „
9 —	13,6 „ +	5,4 „ +	81,0 „
10 —	14,2 „ +	2,8 „ +	83,0 „
Mittel	10,9 % CO_2 +	7,05 % O +	82,05 % N

Von Herrn Dr. Drawe ist in seinem bereits erwähnten „Beitrag zur Kesselhauskontrolle“ ebenfalls eine Anzahl von Kohlensäurebestimmungen der Steinkohlenfeuerung-Rauchgase mitgeteilt. Der Durchschnitt aus einer gut gefeuerten Woche stellte sich auf 11,3 % CO_2. Die Sauerstoffbestimmung wurde dabei leider nicht mit ausgeführt.

Sind keine unverbrannten Gase im Rauchgase vorhanden, so kann man *aus dem Überschuss an Sauerstoff* in denselben *und aus dem vorhandenen Stickstoff* den *Luftüberschuss* berechnen, der die zur Verbrennung benötigte Menge atmosphärischer Luft übersteigt. Denn da 21 Vol. O auf 79 Vol. N in der Luft enthalten sind, d. i. an Stickstoff die $\frac{79}{21} = 3{,}765$ fache Menge des Sauerstoffs, so braucht man nur den Prozentsatz an Sauerstoff im Rauchgase, den wir mit O bezeichnen wollen, mit dieser Zahl zu multiplizieren $= 3{,}765\ O = \frac{79}{21} O$ und diesen aus dem Sauerstoffgehalt berechneten Stickstoffgehalt der Rauchgase vom gefundenen Gesamtstickstoffgehalt N derselben abzuziehen, wonach als Rest der Stickstoff übrig bleibt, der aus der zur Verbrennung verbrauchten Luftmenge stammt. Dieser Stickstoffrest steht in dem gleichen Verhältnis zum Gesamtstickstoff aus der Rauchgasanalyse, wie die zur Verbrennung benötigte Luftmenge, welche wir = 100 setzen wollen, zur gesamten in die Feuerung eingeführten Luftmenge, die wir mit L bezeichnen.

Wir erhalten sonach die Gleichung:

$$(N - \frac{79}{21} O) : N = 100 : L$$

$$L = \frac{100 N}{N - \frac{79}{21} O} = \frac{100 N}{N - 3{,}765 O}$$

Der Luftüberschuss U beträgt dann in Prozenten, da

$$L = 100 + U \text{ ist, } U = \frac{100 N}{N - 3{,}765 O} - 100$$

Nehmen wir als Beispiel das oben mitgeteilte Analysen-Mittel der Steinkohlenrauchgase, so erhalten wir für U = 48 % Luftüberschuss.

Wenn wir dagegen aus einigen Analysen der aus dem Fuchs entnommenen Braunkohlenrauchgase den Luftüberschuss berechnen, so erhalten wir

bei Analyse	1. U =	21,9 %
	2. U =	23,8 „
	6. U =	136,2 „

Für den Annahmefall, dass gerade der gesamte Sauerstoff der zugeströmten Luft vom Brennstoff aufgezehrt wird, ohne dass unverbrannte Gase im Rauchgas übrig bleiben, — man bezeichnet dies als *theoretische Verbrennung* — erhält man natürlich den höchst erreichbaren Kohlensäuregehalt, den sogenannten *Maximal-Kohlensäuregehalt* der Rauchgase für einen bestimmten Brennstoff. Derselbe ist für die nachfolgenden Brennstoffe, deren Analyse unter dem Abschnitt „Verbrennungswärme" gegeben wird, nach Bunte[1]) folgender:

Maximal-Kohlensäure und gleichzeitiger Stickstoff-Gehalt in den trockenen Rauchgasen in Volum-Prozenten,

bei reinem Kohlenstoff	21,0 %	CO_2	—	79,0 % N
„ Torf	20,0 „	„	—	80,0 „ „
„ mittlerer Braunkohle	18,7 „	„	—	81,3 „ „
„ Steinkohle	18,6 „	„	—	81,4 „ „
„ Mineralöl	15,0 „	„	—	85,0 „ „
„ Leuchtgas	12,0 „	„	—	88,0 „ „

[1]) Stohmann u. Kerl, „Encyklop. Handb. der techn. Chemie". 4. Aufl. Band IV, S. 314.

Der Kohlensäuregehalt der Rauchgase ist, wie wir sahen, nicht bloss von der Güte des Brennmaterials, sondern noch vielmehr von der Stärke des Luftzuges auf dem Feuerherd abhängig, die bekanntlich durch die Schieberstellung reguliert wird.

Die *richtige Zugstärke* ist ebensowohl von der Art des Brennmaterials als von den Einmauerungs- und sonstigen lokalen Verhältnissen abhängig. Man misst die Zugstärke durch Einstecken eines eisernen Rohres in den Kesselzug und Verbinden desselben mit einem U-förmigen Glasrohr, das mit gefärbtem Wasser gefüllt ist. Bei Braunkohlenfeuerung kommt man im allgemeinen mit 10 bis 20 mm Wassersäule aus, bei Steinkohlenfeuerung mögen mitunter bis 25, auch 30 mm nötig sein. Das in den Zug eingesenkte Rohr muss am unteren Ende unter einem Winkel von 45° abgeschrägt sein und *die Öffnung muss genau in der Zugrichtung nach dem Schornstein liegen*, nicht gegen dieselbe, ebenso wie diese Vorsicht beim Ansaugen der Rauchgase zu gebrauchen ist; andernfalls beeinträchtigt hier der gegen die Rohröffnung gerichtete Stoss der Rauchgase die richtige Anzeige der vorhandenen Zugstärke.

Zum Messen derselben wendet man auch entsprechend gebaute Metall-Zugmesser an, die bis zu 30 mm Luftleere anzeigen.

Zu erwähnen sind hier der Hudler'sche Trocken-Zugmesser, der Zugmesser von Dürr und das Vakuummeter von Altmann.[1])

Die benötigte Zugstärke richtet sich sowohl nach dem Feuerungsmaterial als auch nach dem ganzen Bau der Kesselfeuerungs-Anlage; es wird beim Vergleichen verschiedener Feuerungen nicht im Fuchs, sondern dicht hinter dem Roste oder am Ende des ersten Kesselzuges gemessen, weil die freie Rostfläche die massgebende Zuströmungsöffnung bildet.

Es genügt hier stets eine geringere Zugstärke, die bekanntlich am Rost kleiner ist als am Kesselschieber, und zwar um so viel, als den Widerständen in den Kanälen und der Aufnahme falscher Luft in den Mauerritzen etc. auf diesem

---

[1]) Der erstere kann von Steinle & Hartung in Quedlinburg, der Dürrsche von G. A. Schultze in Berlin, und das Vakuummeter von Ad. Altmann in Berlin bezogen werden.

Wege entspricht. Bei 13 mm Zug am Kesselschieber sind beispielsweise 5 mm Zugstärke hinter dem Rost gemessen worden.

Es wurde bereits flüchtig der Beziehungen zwischen der Temperatur der abgehenden Heizgase und dem Kohlensäuregehalt derselben gedacht. Es leuchtet ein, dass bei starkem Zug, unter sonst gleichen Verhältnissen, mehr überschüssige atmosphärische Luft sich den Feuergasen beimischt und dass bei einer grösseren Zuggeschwindigkeit die Wärme nicht in dem Masse von den Kesselwänden aufgenommen werden kann, als bei schwachem Zug und geringerer Zuggeschwindigkeit. Aus diesem Grunde wird bei ordnungsmässiger Beschickung des Rostes ein hoher Sauerstoff- und niedriger Kohlensäuregehalt immer auf eine zu grosse Schieberöffnung oder zu hohe Zugstärke zurückzuführen sein und eine höhere Fuchstemperatur zur Folge haben. Wird der Rost zum Teil frei und strömt viel kalte Luft durch den Rost ein, vielleicht auch durch Undichtheiten der Kesseleinmauerung, so muss natürlich hierdurch wieder eine Erniedrigung der Fuchstemperatur bei einer selbstverständlichen Erniedrigung des Kohlensäuregehaltes eintreten. Beiläufig folgt aus dieser Wechselbeziehung, dass zu einer strengen Feuerungskontrolle sowohl die Kohlensäure- und Sauerstoffbestimmung der Rauchgase, als auch die Ermittelung der Fuchstemperatur gehört.

Um nun die sehr wichtigen Beziehungen zwischen dem Kohlensäuregehalt und der Abgangstemperatur der Rauchgase, sowie auch besonders der Anfangstemperatur bei der Verbrennung, näher darzulegen, ist es nötig, vorerst auf einige thermo-chemische Verhältnisse bezüglich der Brennmaterialien und der in ihnen enthaltenen Elemente näher einzugehen. Diesem Thema sind die Kapitel XIV u. XV gewidmet.

Dieselben sind unter Benutzung einer Anzahl Tabellen aus dem von Professor Dr. Bunte verfassten Abschnitt über *die Heizstoffe* in Stohmann u. Kerl, „Encyklopädisches Handbuch der Technischen Chemie" und mit teilweisem Anschliessen an die Ausführungen Buntes[1]) ausgearbeitet.

---

[1]) Für die freundlichst hierzu erteilte Erlaubnis des Herrn Hofrat Prof. Dr. H. Bunte in Karlsruhe, sowie des inzwischen verstorbenen Professor Dr. F. Stohmann in Leipzig bleibe ich dankbar verbunden.

Trotz der durch den wesentlich praktischen Zweck des vorliegenden Werkchens gebotenen Kürze dieses mehr theoretischen Teiles desselben hoffe ich doch, auch für denjenigen klar genug geschrieben zu haben, der weniger Gelegenheit gehabt hat, mit den einschlägigen Verhältnissen sich zu beschäftigen.

Vor den betreffenden Kapiteln möchte ich indessen noch dem von der Kritik der ersten Auflage geäusserten Wunsche entsprechen und ein Kapitel über die Beziehung der Feuergase zur Abmessung des Schornsteines und der Feuerzüge hier einschalten.

XIII.

Der Schornstein und seine Wechselwirkung mit der Feuerungsanlage [1]).

Jeder Schornstein hat den Zweck, durch seinen Zug die zur Verbrennung der Brennmaterialien benötigte atmosphärische Luft der Feuerung zuzuführen und zwar so, dass die Feuergase durch den Schornstein mit möglichst geringem Wärmeverlust entweichen. Die mehr oder weniger starke Zugkraft des Schornsteines wird hierbei durch folgenden Vorgang bedingt:

Das Gewicht der im Schornstein befindlichen heissen Rauchgassäule ist infolge der starken Ausdehnung der Rauchgase und der hierdurch bedingten Verminderung des spezifischen Gewichtes derselben trotz ihres Kohlensäuregehaltes geringer, als eine gleiche Gassäule frischer atmosphärischer Luft. Die Gewichtsdifferenz beider Gassäulen bedingt den unterschiedlichen Gas- oder Luftdruck, der auf der unteren Eingangsöffnung des Schornsteines und auf seiner Austrittöffnung ruht, welche Gewichtsdifferenz in erster Linie und zu allermeist die Zugkraft des Schornsteines erzeugt.

Durch die stete Neubildung heisser Feuergase auf dem Rost und den Abzug derselben zum Schornstein erhält sich

---

[1]) In diesem Kapitel hat der Verfasser betreffs der Berechnungen, Querschnitte und Höhenmasse sich ganz an das Werk von Prof. Gustav Lang „Der Schornsteinbau" gehalten und daraus die Hauptformeln und Erfahrungswerte entnommen (Heft I, p. 19—64). Ich spreche gern für die Erlaubnis hierzu Herrn Prof. Lang an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank aus. Gemäss eigener Erfahrung aber möchte ich mir erlauben, hier noch darauf hinzuweisen, wie sehr nützlich und empfehlenswert es ist, ein solches Buch tüchtig durchzustudieren.

der ununterbrochene Auftrieb, d. h. die Differenz der Gewichte der beiden verschieden schweren Luftsäulen.

Dieser Zugkraft des Schornsteins oder dem Auftrieb in demselben stellen sich aber verschiedene Widerstände entgegen. Vor allen Dingen muss das Ansaugen der atmosphärischen Luft durch den Rost und das Brennmaterial hindurch geschehen, und ferner ist, jedoch in geringerem Masse, ein Reibungs-Widerstand beim Durchgang durch die Kesselzüge und den Fuchs zu überwinden; endlich ist auch im Schornstein selbst ein Reibungs-Widerstand vorhanden. Die zur normalen Verbrennung notwendige Gesamtauftriebskraft erfordert eine bestimmte Schornsteinhöhe H. Die nutzbare Schornsteinhöhe ist dann diejenige, welche nach Überwindung der Widerstände den Auftrieb bewirkt, und man erhält sie, indem man die gesamte Widerstandshöhe N von der ganzen Zughöhe H des Schornsteins in Abzug bringt.

Der Gesamtwiderstand N ist erstens und hauptsächlich bedingt von der Höhe der Aufschichtung und der Art des Brennmaterials, welcher Widerstand N_1 benannt wird und mit dem Quadrat der Schichthöhe s steigt, und zweitens aus dem Widerstand N_2 in den Feuerzügen, in dem Fuchs und im Schornstein selbst.

Der Wert für N_1 bei guten Steinkohlen von der Schichthöhe $s = 0{,}10 - 0{,}11 - 0{,}12$ m beträgt $N_1 = 5{,}6 - 6{,}75 - 8$ m; bei backenden Steinkohlen steigt er noch mehr. Der Wert $N_1 + N_2 = N$ kann zwischen 6—20 m wechseln und ist bei guten Anlagen im Mittel $N = 9$ m.

Man kann annehmen, dass alle diese Einflüsse die Austrittgeschwindigkeit v_0 der Gase aus dem Schornstein auf etwa $^1/_5$ des ohne dieselben erhältlichen Masses herabdrücken. Die Schornsteinhöhe H muss natürlich auch in den ungünstigsten Zugverhältnissen den Wert von N stets beträchtlich übersteigen.

Zumeist ist auch schon im kalten Schornstein ein mehr oder weniger starker Zug vorhanden, der dadurch hervorgerufen wird, dass durch den Anstau der fast immer bewegten atmosphärischen Luft am Schornstein ein äusserer Auftrieb an demselben und über den Schornsteinkopf hinweg entsteht, der auf der Schornsteinmündung eine Verringerung des Luftdruckes

und im Schornstein eine Luftverdünnung erzeugt, wodurch die Bedingung für den inneren Auftrieb gegeben ist.

Bei völliger Windstille versagt mangels solchen Auftriebes der Schornstein beim Anheizen sehr leicht, besonders im Sommer, wo die Innenluft kühler sein kann als die Aussenluft. Man erzeugt dann die dünnere Schornsteinluft und den ersten Auftrieb durch Stroh- oder Holzfeuer, das man direkt im Fuchs oder im Schornstein entzündet. Es kommt vor, besonders bei engen lange Zeit ausser Betrieb gebliebenen Schornsteinen, dass schon etliche im Inneren befindliche oder die Mündung desselben schliessende Spinnengewebe, trotz herrschenden Windes, den ersten Auftrieb durchaus verhindern.[1]) Ferner kommt es vor, dass die halbverbrannten und mit überschüssiger Luft sich mischenden Schwelgase aus dem Stroh- oder Holzfeuer im Fuchs bis in den Schornstein hinein sich anstauen, bis sie mit einem Male explosionsartig sich entzünden und die kalte Luft zum Schornstein hinausschleudern. Besonders bei neu aufgeführten Schornsteinen hat man sich des Letzteren zu versehen und daher beim Anfeuern Vorsicht zu üben, weil hier infolge des starken Wärmeverbrauches durch die Verdunstung der Feuchtigkeit des frischen Mauerwerkes eine kühle schwere Luft gebildet wird, die dem Auftrieb beträchtlichen Widerstand entgegensetzt.

Wir gehen jetzt zur Berechnung der Schornsteinhöhe und seines benötigten lichten Querschnittes über.

Annäherungs-Werte für die Dimensionen des Schornsteins, berechnet aus der Gesamtrostfläche.

Um die Höhe eines Schornsteines zu bestimmen, muss man von gewissen Annahmen bezw. Erfahrungsätzen ausgehen, ohne welche die Berechnung der Schornsteinabmessungen nicht möglich ist.

Als Grundregel gilt hierbei, dass die notwendige Ausströmungsgeschwindigkeit v_n der Rauchgase aus dem Schornstein wenigstens 3—4 m/sec. betragen muss, wenn ein Rückstau der Rauchgase durch widrige Winde verhindert werden soll. Bei starkem Wechsel im Betrieb zahlreicher Feuerungen für einen Sammelschornstein empfiehlt es sich, die Geschwindigkeit für den Vollbetrieb grösser als 3 oder

[1]) Der Verfasser hat dies bei einem Knochenkohlenhaus-Schornstein erfahren, welcher nur erst nach Beseitigung der Spinnengewebe in Zug kam.

4 m/sec., und zwar bis zu 8 m/sec. anzunehmen, damit auch für den halben Betrieb noch die nötige Ausströmungsgeschwindigkeit erzielt wird; mindestens aber muss bei kleinstem Betriebe noch eine Ausströmungsgeschwindigkeit von 2 m/sec. vorhanden sein.

Von der Gesamtzahl der Feuerungen sollten eigentlich nie weniger als $^1/_4$ bis $^1/_5$ im Betriebe sein. Bei einem neu zu erbauenden Schornstein bemisst man die Lichtweite möglichst gross, um einer möglichen späteren Vergrösserung der Heizanlagen im Voraus gerecht zu werden.

Annähernd lässt sich der *obere Lichtquerschnitt* F_0 nach der gesamten *Rostfläche* R der für den Schornstein bestimmten Feuerungen bemessen nach der Formel I (2) $F_0 = \frac{R}{\varphi}$ und man kann nach Strupler als Kleinstmass folgende Erfahrungswerte für F_0 einsetzen:

bei 1, 2, 3, 4—5, 6—7, 8—9, 10—12 Kesseln

$^1/_4$ $^1/_5$ $^1/_6$ $^1/_7$ $^1/_8$ $^1/_9$ $^1/_{10}$ der ganzen Rostfläche für Steinkohlenfeuerung; für klare Braunkohlenfeuerung hiervon $^2/_3$—$^3/_4$.

Auch die *Schornsteinhöhe* lässt sich nach Strupler *aus der Heizfläche* annähernd berechnen mit Hülfe der Formel $H = 6 \sqrt[3]{\text{Heizfläche}}$, wonach man für gewöhnliche Verhältnisse brauchbare Kleinstwerte erhält.

Die früher oft benutzte Peclet'sche Formel: $v = \varphi \sqrt{\frac{2gh(T-t)}{273+t}}$

worin v die im Schornstein entstehende Rauchgasgeschwindigkeit pro Sekunde bedeutet, g die bekannte Zahl 9,81 für die Fallbeschleunigung, h die Höhe der Schornsteinluftsäule in Metern, T die Temperatur im Schornstein, t diejenige der Aussenluft, φ die Konstante für die Bewegungswiderstände, die in der Regel $= {}^1/_3$ gesetzt wird, aber in Wirklichkeit bis zu $^7/_8$ ansteigen kann — trägt zu wenig den ganz verschiedenartigen Widerständen und Verhältnissen verschiedener Feuerungs-Anlagen Rechnung und ist von den neueren Formeln überholt worden.

Bei einer grossen Kesselanzahl geht man bei der Berechnung der nötigen Schornsteinverhältnisse am zweckmässigsten von dem Gewicht B der stündlich benötigten Brennstoffmengen aus.

Annähernde Berechnung der Dimensionen des Schornsteins aus der erforderlichen Brennstoffmenge.

A. Querschnitt des Schornsteins.

Die Forderung, dass die Ausströmungsgeschwindigkeit v_n mindestens 3—4 m/sec. betragen soll, führt zu der Gleichung für den oberen Schornsteinquerschnitt F_o in qm.

$$\text{II (2a)}^{1)}\ F_o = \frac{B \,.\, G \,.\, (1 + \alpha\, t_o)}{\gamma \,.\, \delta \,.\, 3600 \,.\, v_n}$$

worin bedeutet:

B = den stündlich auf dem Rost verbrauchten Brennstoff in kg.

G = die Gasmenge in kg, die durch Verbrennung von 1 kg Brennstoff erzeugt wird,

α = $^1/_{273}$ = 0,003665, die Wärmeausdehnungzahl für Gase.

t_o = Austrittwärme der Rauchgase aus dem Schornstein.

γ = 1,29 kg = Gewicht von 1 cbm mitteltrockener Luft von 0⁰ Cels. bei 760 mm Barometerstand.

δ = Dichte der Rauchgase, bezogen auf Luft.

Für Braunkohle bezw. Steinkohle ist bei der einfachen theoretischen Luftmenge zur Verbrennung δ = 1,012 bezw. 1,022.

Nehmen wir einmal als verbrauchte Luftmenge das Doppelte der theoretischen an, was für Steinkohlenfeuerung im Durchschnitt zutrifft und bei Braunkohlenfeuerung im schlimmsten Falle auch vorkommt; setzen wir ferner G und δ für gute Steinkohle = 22,30 und 1,022, für gute Braunkohle = 13,56 und 1,012, für erdige Braunkohle = 10,55 und 1,002; und für die Ausströmungswärme = 200⁰ C.; so erhalten wir in der Formel für F_o, wenn wir neben B den übrigen Gesamtwert mit η bezeichnen, sodass $F_o = \eta \,.\, B$ wird, folgende Werte für η und für den oberen Schornsteindurchmesser d_o, letzteren bei vn = 3,5 m/sec., nach der Formel

$$\text{IIa}\ F_o = \frac{d^2 \pi}{4} = \eta\, B \text{ und } d_o = 2\sqrt{\frac{\eta}{\pi} B} = 2\sqrt{\frac{\eta}{\pi}} \,.\, \sqrt{B}.$$

	bei vn = 3 m/sec.	bei 4 m/sec.	bei 3,5 m/sec.	bei 3,5 m/sec.
η für Steinkohle	0,00271	0,00225	0,00235	$d_o = 0{,}055\sqrt{B}.$
η „ gute Braunkohle	0,00166	0,00127	0,00145	$d_o = 0{,}043\sqrt{B}.$
η „ erdige Braunkohle	0,00131	0,00098	0,00112	$d_o = 0{,}038\sqrt{B}.$

[1]) Die in Klammern gesetzte Zahl bedeutet die von Prof. Lang gewählte Nummerierung der Formeln.

Der Wert für G lässt sich aus der Analyse eines Brennmaterials direkt berechnen; es finden sich die bezüglichen Grundlagen hierfür im Kapitel XVI. Der oben eingesetzte Wert für $G = 10{,}55$ für eine erdige Braunkohle ist aus den dort pro kg ermittelten Gasvolumina und ihrem Gewicht pro cbm (Tabelle V, Kapitel XIV) erhalten.

B. Höhe des Schornsteines.

Ohne eingehendere Rechnung kann man die Höhe nach folgender Annäherungsformel ermitteln:

$$\text{III (3)} \quad H = \left\{20\, d_o + 5 + 0{,}05\ (l - 20)\right\} \cdot \frac{700 - t_m}{200 + t_m}$$

Ausser den bekannten Bezeichnungen bedeuten:

l = Länge der Feuerzüge und des Fuchses.

Bei mehreren Kesseln ist für l die Summe der Längen der Feuerzüge + ganze Fuchslänge zu setzen.

t_m = mittlere Wärme der Rauchgase im Schornstein.

Für $t_m = 250^0$ erhält man für den letzten Faktor $\frac{700 - t_m}{200 + t_m}$ den Wert = 1. Doch wechselt dieser Wert gar sehr mit wesentlich verschiedener Temperatur und ist z. B. bei $t_m = 400^0$, was auch vorkommt, = 0,5.

Genauere Berechnung der Dimensionen des Schornsteins und der Austrittgeschwindigkeit der Rauchgase.

Die genaue wirksame Höhe des Schornsteins = H_r, nämlich die Höhe desselben über dem Rost, ist mit der Höhe H über Erdniveau zumeist gleich, sodass $H_r = H$ wird und die Formel III für H auch für H_r eingesetzt werden kann.

Für eine bestimmte Geschwindigkeit von v_n, z. B. = 3 od. 4 m/sec., oder bei einer grösseren Anzahl von Kesseln im Vollbetrieb = 8 m/sec., lässt sich die Höhe H_r genau bestimmen, wozu indess die schon benannten Einzelwiderstände N_1 und N_2, sowie verschiedene Erfahrungswerte benötigt sind.

Die Widerstandshöhe N_1 *beim Durchgang der Luft durch die Brennschicht* ist nach Grashof für gute Steinkohlen bei einer Brennhöhe $s = 0{,}1$ m.

$$\text{IV (5)} \quad N_1 = 25 \, . \, G \, . \, s^2.$$

Da hierbei das Gasgewicht $G = 22{,}3$ kg zu setzen ist, so wird für $s = 0{,}1$ m. $N_1 = 5{,}6$ m, d. h. der Widerstand beim Durchgang der Luft durch die Kohlenschicht entspricht allein schon einem Luftsäulendruck von 5,6 m Höhe.

Die entsprechenden Schichthöhen aber für andere Brennstoffe bei dem *gleichen* Wert von $N_1 = 5{,}6$ m sind z. B.

für backende oder staubförmige Steinkohle	$s = 0{,}08$ m
„ magere Nusskohle	$s = 0{,}12$
„ Braunkohle (Stückkohle)	$s = 0{,}10$
„ staubförmige Braunkohle	$s = 0{,}05$ bis 0,08 m.

Wird s grösser genommen, z. B. für gute Steinkohlen $= 0{,}11$ und $0{,}12$, so steigt N_1 von 5,6 m auf 6,75 m und 8,0 m. Man erkennt daraus deutlich, *wie wesentlich die Zugstärke von der Höhe und Körnung der Brennschicht abhängt.*

Die Widerstandshöhe N_2 *beim Durchgang der Luft durch die Feuerzüge und den Fuchs* ist kleiner als N_1, und in der Hauptsache abhängig von der *mittleren Geschwindigkeit* v_c *der Rauchgase in den Zügen und im Fuchs,* welche durch die Formel

$$\text{V (4)} \quad v_c = \frac{B \, . \, G \, . \, (1 + \alpha t_c)}{\gamma \, . \, \delta \, . \, 3600 \, . \, F_c} \quad \text{gefunden wird;}$$

worin ausser den schon bekannten Bezeichnungen bedeuten:

t_c = die mittlere Wärme der Rauchgase in den Feuerzügen und im Fuchs.

F_c = den mittleren Querschnitt der Feuerzüge und des Fuchses. Der Querschnitt des Fuchses und des letzten Feuerzuges wird gewöhnlich $= F_m$, dem mittleren Lichtquerschnitte des Schornsteins, gesetzt.

Den Wert t_c findet man als arithmetisches Mittel aus der Temperatur t_f der Verbrennungsgase im Feuerraum und der Eingangstemperatur t_u in den Schornstein. Nimmt man t_f zu 1300^0 C. und $t_u = 200^0$ C., so ergibt sich als Mittelwert $t_c = 750^0$ C. Bei längerem Fuchs und noch mehr bei

eingebauten Vorwärmern, ist die Abkühlung an den Kesselwänden stärker als das arithmetische Mittel ergibt; man kann diesfalls t_c um ca. 100° C. erniedrigen.

Da die Geschwindigkeit v_c höchstens $= v_n$ sein darf, so kann man bei vorhandenen Feuerungsanlagen aus der Abgangstemperatur t_u, aus dem nach dem Kohlensäuregehalt der Rauchgase sich ergebenden spezifischen Gewicht, und den übrigen je nach dem Feuerungsmaterial gegebenen Grössen, den notwendigen Querschnitt F_c nach der für F_o gegebenen Formel II ermitteln. Es würde also sein müssen

$$\text{Va)}\quad F_c = \frac{B \cdot G \cdot (1 + \alpha t)}{\gamma \cdot \delta \cdot 3600 \cdot v_n}$$

d. i. der durchschnittliche Querschnitt für den Fuchs und die Feuerzüge. Man gibt indes nur dem Fuchs und dem letzten Kesselzug diesen Querschnitt, bemisst aber den zweiten und ersten Feuerzug um ca. $^1/_4$ bezw. $^1/_2$ grösser, um der hier noch heisseren Feuerluft und ihrem grösseren Volum gerecht zu werden.

Nach Ermittelung von v_c bestimmt sich die Widerstandshöhe in den Feuerzügen und dem Fuchs nach der Formel

$$\text{VI (7)}\quad N_2 = \frac{v_c^2}{2g\,(1 + \alpha\, t_c)}\left(\varrho_c \cdot l \cdot \frac{U_c}{F_c} + \Sigma \xi\right);$$

ϱ_c = 0,0085 die mittlere Reibungszahl für die Rauchgase an den Wänden.
l = Gesamtlänge der Feuerzüge + ganze Länge des Fuchses.
U_c = Umfang des mittleren Lichtquerschnittes derselben.
F_c = Mittlerer Lichtquerschnitt der Feuerzüge und des Fuchses.
$\Sigma\xi$ = Summa der Leitungswiderstände für Richtungswechsel und Querschnittsänderungen der Rauchzüge.

Wie verschieden die Werte für ξ sind, geht z. B. aus folgenden Angaben hervor:

Es wird der Richtungswiderstand

für ein scharfes rechtwinkliges Knie	$\xi = 1,5$
„ „ abgerundetes „	$\xi = 1,0$
„ „ stumpfes (135°) „	$\xi = 0.6$
„ allmähliche Richtungsänderung	$\xi = 0,15$
„ plötzliche „	$\xi = 2,0$

In den Wert $l \frac{U_c}{F_c}$ ist die Summe für die entsprechenden Einzelstränge $= (\frac{U_1}{F_1} l_1 + \frac{U_2}{F_2} l_2 + \frac{U_3}{F_3} l_3 + \ldots)$ einzusetzen, wobei für den Kreis, das Quadrat und alle regelmässigen Vielecke $\frac{U}{F} = \frac{4}{d}$ wird, wenn d den Durchmesser des einbeschriebenen Kreises bedeutet.

Bei einer überschlägigen Rechnung kann man $N_1 + N_2 = N = 9$ m als Mittelwert einsetzen.

Die genaue Berechnung der wirksamen Schornsteinhöhe H_r kann nunmehr nach der Formel erfolgen:

$$\text{VII (11a)} \quad H_r = \frac{2g\, N(1 + \alpha t_m) + v_n^2}{2g\, \alpha \frac{t_m - t}{1 + \alpha t} - v_n^2\, \varrho \frac{U}{F}}$$

und die wirklich erreichbare Ausströmungs-Geschwindigkeit v_e erhält man nach der Formel

$$\text{VIII (10a)} \quad v_e = \sqrt{\frac{2g\left(H_r \alpha \cdot \frac{t_m - t}{1 + \alpha t} - N(1 + \alpha t_m)\right)}{1 + \varrho \frac{U}{F} : H_r}},$$

welche letztere Formel sich aus der Grundgleichung für den Schornsteinzug aufbaut:

$$\text{IX (5)} \quad H_d - N = \frac{v_m^2}{2g\,(1 + \alpha t_m)}\,(1 + n).$$

H_d bezeichnet die Auftriebhöhe, d. i. der Überdruck der äusseren Luft über die erwärmten Rauchgase des Schornsteins;

v_m die der mittleren Temperatur t_m im Schornstein entsprechende Geschwindigkeit;

n die Summe der Widerstandzahlen im Schornstein.

Für gewöhnlich kann man $n = \varrho \frac{U_m}{F_m} H$ setzen.

Da eine ausführlichere Begründung der Formeln weit über den Rahmen dieser Abhandlung hinausgehen würde, so können hier weder die wichtigen genauen Einzelbeziehungen und Formeln für alle Verhältnisse, für verschiedenartige Kessel-

anlagen (Cornwallkessel, Röhrenkessel, etc.), noch die nötigen Erfahrungswerte dafür und für verschiedene Feuerungsmaterialien u. s. w. wiedergegeben werden.

Hierzu und für die genaue Berechnung der verschiedenen Kesselfeuerungs-Anlagen und der Schornsteine ist ein eingehendes Studium nötig; doch ist mit Hülfe der gegebenen Formeln eine Kontrolle einer vorhandenen Anlage oder eines fertigen Projektes sehr wohl möglich.

Es mag daher zum Schluss noch *der allgemeine Gang zur Benutzung der oben angegebenen Hauptformeln* dargelegt werden:

Man ermittelt zuerst die *Annäherungswerte*, und zwar zunächst den *Schornsteinquerschnitt* F nach Gleichung II, unter Annahme von $v_n = 3 - 4$ m/sec., bei einer grösseren Anzahl Kessel im Vollbetrieb $v_n =$ bis zu 8 m/sec., worauf der Durchmesser $d = 2\sqrt{\frac{F}{\pi}}$ berechnet wird, sowie das Verhältnis $\frac{U}{F} = \frac{4}{d}$. Die *Schornsteinhöhe* H erhält man dann annähernd nach Gleichung III.

Zur *genauen Berechnung* der notwendigen durchschnittlichen Geschwindigkeit v_n setzt man die oben erhaltenen Werte in Formel V ein und erhält dadurch zuerst den Wert für v_c. Nunmehr ist der Gesamtwiderstand $N = N_1 + N_2$ festzustellen und es wird N_1 nach Formel IV, N_2 dagegen nach Formel VI ermittelt. Das Verhältnis $\frac{U_c}{F_c}$ wird je nach geringerer oder grösserer Länge des Fuchses mit 1,2 bis zu 1,4 eingesetzt. Der Wert $\Sigma\,\xi$, die Summe der Leitungswiderstände in den Rauchzügen, ergibt sich aus der Art der Kesseleinmauerung nach den hinter Formel VI mitgeteilten Werten.

Schliesslich erhält man unter Einführung der gefundenen Werte die wirkliche Schornsteinhöhe H_r nach Formel VII und die erreichbare Geschwindigkeit v_e nach Formel VIII.

Unter Einführung dieses Wertes für v_n in die Formel II ergibt sich die Grösse des Querschnittes resp. des Durchmessers, wie solcher für die berechnete Höhe H_r erforderlich ist.

Gegenseitige Beziehungen des Brennstoffverbrauches, der mittleren Temperatur der Kesselgase, ihrer Durchgangsgeschwindigkeit und ihres Kohlensäuregehaltes.

Man sollte meinen, dass bei niedrigem Kohlensäuregehalt, infolge hinzugetretener überschüssiger Luft die Austrittstemperatur t_u stets niedriger sein müsse, als bei geringerem Luftüberschuss. Dies ist aber erfahrungsgemäss zumeist nicht der Fall, sondern vielmehr fast immer umgekehrt.

Wenn nämlich infolge zeitweiser starker Dampfentnahme, oder durch zu starke Drosselung des Rauchkanales und demzufolge zu schwacher Verbrennung, die Dampfspannung im Kessel wesentlich zurückgegangen ist, pflegt der Heizer, um mit dem Dampfdruck wieder hochzukommen, die Drosselklappe oder den Schieber weit, womöglich ganz aufzureissen.

Es entsteht natürlich durch Beseitigung des Hindernisses der Querschnittverengerung, besonders wenn mehrere Kessel in ein und denselben Fuchs münden, ein starker Zug. Sofort tritt mehr Luft durch die Kohle hindurch und es verbrennt davon mehr in der Zeiteinheit, sodass der Wert B und das Gasgewicht G steigen. Das letztere wird aber nicht bloss durch das Mehrgewicht von B grösser werden, sondern es geht infolge der stärkeren Zugkraft auch mehr überschüssige Luft bei gleichbleibender Schütthöhe hindurch, die z. B. bei Treppenrosten für den gleichbleibenden Fallwinkel eine gegebene Grösse ist.

So muss also bei zu starkem Zug der Kohlensäuregehalt sinken und das Gasvolumen G über die Gebühr vergrössert werden. Bei dem gleichen Querschnitt F_c der Feuerzüge wird daher das Gasvolumen G dieselben mit einer grösseren Geschwindigkeit v_c durchstreichen. Die Feuergase können aber bei der vergrösserten Durchgangsgeschwindigkeit v_c nicht mehr in der Zeiteinheit gleichviel Wärme an die Kesselwände abgeben, weshalb, da die Anfangstemperatur t_f bei gleicher Kohle die gleiche bleibt und die Ausnutzung der Wärme $t_f - t_u$ eine geringere ist, die Abgangstemperatur t_u steigen muss.

Durch das starkvermehrte Gasgewicht werden selbstverständlich trotzdem den Kesselwänden mehr Wärmeeinheiten in der Zeiteinheit zugeführt, sodass der Dampfdruck allmählich

steigt; jedoch muss man eine höhere Abgangstemperatur dabei in den Kauf nehmen.

Mit Hülfe des Ados-Apparates kann man den beschriebenen Vorgang sehr gut verfolgen, wenn man zugleich Dampfdruck und Schieberöffnung beobachtet. Natürlich wird bei *Mangel* von Kohle auf dem Rost sowohl der Kohlensäuregehalt als die Temperatur der Abgangsgase heruntergehen.

In jedem Falle aber ist ein niedriger Kohlensäuregehalt immer ein Kohlenfresser; und deshalb ist es vorteilhaft, den Heizer auf Prämie bezüglich des höheren Kohlensäuregehaltes zu setzen. Auch weise man ihn an, dass er schon *beim geringsten Fallen des Dampfdruckes* den Schieber ein *klein wenig* zur Erhöhung des Zuges und der Kohlenverbrennung zieht, nicht aber damit wartet, bis der Dampfdruck beträchtlich gefallen ist, wonach er sich genötigt sieht, den Schieber weit aufzureissen und viel Kohle mit viel Wärmeverlust zu verbrennen.

XIV.

Einiges über die Verbrennungs-Wärme.

Als Verbrennungswärme bezeichnet man die bei Oxydationsprozessen nachweisbare Wärmeabgabe. Tritt hierbei eine Lichtentwicklung auf, so wird dieser Prozess schlechthin als Verbrennungsprozess bezeichnet.

Die Messung der erzeugten Wärmemenge (Kalorimetrie) aus irgend einem Brennstoff geschieht in der Weise, dass die Verbrennung in einem Gefäss vorgenommen wird, welches mit Wasser umgeben ist, dessen Temperatur vor und nach der Verbrennung gemessen wird. Diejenige Wärmemenge, die zur Erwärmung von 1 Kilogramm Wasser von 0 auf 1° Cels. nötig ist, heisst Wärmeeinheit (Kalorie) = W. E.

Die für die Rauchgase in Betracht kommenden Verbrennungswärmen einiger Körper mit Sauerstoff oder Luft sind nach in soeben angedeuteter Weise ausgeführten Ermittelungen in der folgenden Tabelle verzeichnet. Die Bedeutung der Werte der einzelnen Zahlenreihen erläutert der Kopf der Tabelle. Diejenige Wärmemenge in Kalorieen, welche dem Verhältnis der Molekulargewichte der Körper entspricht —

also nicht der gleichen Gewichtseinheit derselben — ist in der fünften Vertikalreihe verzeichnet und wird durch Multiplikation der Kilogrammkalorieen (in der zweiten Zeile) mit dem Molekulargewicht in Grammen, und Division mit der Zahl 1000 erhalten.

Tabelle I.

Verbrennungswärme (W) einiger Körper mit Sauerstoff oder Luft.

Verbrennungs-Körper	Verbrannt zu	W = kg-Wärme-Einheiten pro 1 kg	Molekulargewicht in Grammen = Gramm-Molekül	kg-Wärme-Einheiten pro Gramm-Molekül
Kohlenstoff, C, als Holzkohle	Kohlensäure, CO_2	8 100[1])	12 g C	96,96
Kohlenstoff, C, als Zuckerkohle	Kohlensäure, CO_2	8 040	12 „ C	96,48
Kohlenoxyd, CO	Kohlensäure, CO_2	2 403	28 „ CO	67,28
Holzkohle, C	Kohlenoxyd, CO	2 473	12 „ C	29,70
Wasserstoff, H_2	Wasser, H_2O, flüssig	34 220	2 „ H_2	68,4
Wasserstoff, H_2	Wasser, H_2O, Dampf[2])	28 800[2]) rund	2 „ H_2	57,4[2])
Methan, CH_4	CO_2 u. H_2O-Dampf	11 996[3])	16 „ CH_4	191,9
Acetylen, C_2H_2	CO_2 u. H_2O-Dampf	11 527	26 „ C_2H_2	299,7
Äthylen, C_2H_4	CO_2 u. H_2O-Dampf	11 293	28 „ C_2H_4	316,2
Alkohol, C_2H_6O	CO_2 u. H_2O flüssig	7 184	46 „ C_2H_6O	330,5
Traubenzucker $C_6H_{12}O_6$	CO_2 u. H_2O flüssig	3 743	180 „ $C_6H_{12}O_6$	673,7
Rohrzucker $C_{12}H_{22}O_{11}$	CO_2 u. H_2O flüssig	3 955	342 „ $C_{12}H_{22}O_{11}$	1352,6
Glyzerin, $C_3H_8O_3$	CO_2 u. H_2O flüssig	4 316	92 „ $C_3H_8O_3$	397,1
Schwefel, S	SO_2, Gas	2 220	32 „ S	71,0
Schwefel, S	SO_3, flüssig	3 226	32 „ S	103,2

[1]) Nach den neuesten Untersuchungen Berthelot's 8137,4 cal.

[2]) Stohmann u. Kerl „Encyklopädisches Handbuch der Techn. Chemie", 4. Auflage, Bd. IV, S. 203—206.

[3]) Nach Thomson (Winklers Techn. Gasanalyse, 2. Aufl., S. 184).

Bei den Angaben mit der Bemerkung „flüssig" ist die Kondensationswärme des bei der Verbrennung gebildeten Wassers mitgerechnet; wogegen bei der Bemerkung „Dampf"[1]) nur die Bildung von Wasserdampf in Betracht gezogen und daher dessen Verdampfungswärme — (bei 0° = 606,5 W. E.; für 9 kg = 5459 W. E. oder rund 5400 W. E.; für 1 Grammmolekül (18 g) = 10,92 W. E.) — nicht eingerechnet ist.

Die Verbrennungsgase werden, wie wir bei der Gasanalyse gesehen haben, nicht dem Gewicht nach, sondern dem Volumen nach ermittelt. Es ist daher meist einfacher, wenn man bei den aus den Rauchgasanalysen zu folgernden Berechnungen die *Volumenverhältnisse* der Verbrennungsprodukte zum Ausgang nimmt und die bezüglichen Werte der Verbrennungswärmen u. s. w. sämtlich auf 1 cbm der Gase bezieht. Man erhält die auf 1 cbm bezüglichen Verbrennungswärmen, wenn man die oben mitgeteilten Kilogramm-Wärmeeinheiten mit dem Gewicht der Gase in kg pro 1 cbm multipliziert, weshalb hier zuvörderst diese Gewichts- und Volumenverhältnisse mitgeteilt werden.

Tabelle II.[2])

Gewicht und Volumverhältnisse einiger Gasarten.

Gasart.		1 kg misst bei 0° u. 760 mm Druck cbm	1 cbm wiegt bei 0° u. 760 mm Druck kg
Atmosphär. Luft		0,7728	1,2939
Sauerstoff	(O_2)	0,6993	1,4300
Stickstoff	(N_2)	0,7956	1,2552
Wasserstoff	(H_2)	11,1600	0,0896
Kohlensäure	(CO_2)	0,5084	1,9663
Kohlenoxyd	(CO)	0,7987	1,2515
Methan	(CH_4)	1,3962	0,7155
Äthylen	(C_2H_4)	—	1,2520
Wasserdampf v. 100° C.	(H_2O)	1,2430	0,8046
„ „ 100° C. bei niedrig. Spannung		—	0,8147
Schweflige Säure	(SO_2)	—	2,8634

[1]) Stohmann u. Kerl „Encyklopädisches Handbuch der Techn. Chemie" 4. Auflage, Bd. IV, S. 203—206.

[2]) Ebenda, Bd. IV, S. 301.

Wie jedem Chemiker bekannt, drücken die chemischen Formeln, ausser den Gewichtbeziehungen, zugleich auch unmittelbar die Volumina aus, wobei die Zeichen der verschiedenen Elemente stets gleiche Volumina derselben im Gaszustande bedeuten. Ferner sei hier hervorgehoben, dass im gleichen Volumen der gasförmigen Körper bei gleichem Druck und gleicher Temperatur stets die gleiche Anzahl Moleküle vorhanden ist. Für den Wasserstoff besteht das Molekül aus 2 Atomen oder 2 Volumeneinheiten = H_2. Da nun im gleichen Raum stets gleichviel Moleküle bei allen Gasen vorhanden sind, so muss beispielsweise auch 1 Molekül Wasserdampf den Raum von 2 Volumeneinheiten einnehmen. Das Wasser (H_2O) wird aber aus 2 Volumen Wasserstoff und 1 Volum Sauerstoff gebildet; also müssen diese 3 Volumen im Wasserdampf auf 2 Volumen kondensiert sein. Nach diesem am vorstehenden Beispiel entwickelten Gesetz, welches für alle Gase gültig ist, ergeben sich folgende Volumenverhältnisse für die hier in Betracht kommenden Gase:

Tabelle III.

Verbrennungsprodukte						Brennstoff			Sauerstoff
1	cbm	Wasserdampf	(H_2O)	entsteht	aus	1 cbm	H_2	und	$^1/_2$ cbm O_2
1	„	Kohlensäure	(CO_2)	„	„	1 „	CO	„	$^1/_2$ „ „
1	„	„	„	„	„	0,5363 kg	C	„	1 „ „
1	„	Kohlenoxyd	(CO)	„	„	0,5363 kg	C	„	$^1/_2$ „ „
1	„	SchwefligeSäure	(SO_2)	„	„	$^1/_2$ cbm	S-Dampf	„	1 „ „

Die Zahl 0,5363 kg C in 1 cbm CO_2 wird dadurch gefunden, dass 1 cbm Kohlensäure = 1,9663 kg wiegt; darin ist enthalten
1 cbm Sauerstoff = 1,4300 „ bleibt somit als
Kohlenstoffgewicht = 0,5363 kg in 1 cbm CO_2.

Entsprechend ist die Berechnung beim Kohlenoxyd.

Mit Benutzung der letzten drei Tabellen lassen sich nun die Verbrennungswärmen für C, H und einige in den Tabellen vermerkte brennbare Gase ermitteln. Man erhält beispielsweise

die Verbrennungswärme von 1 cbm Wasserstoff zu Wasserdampf durch die Gleichung 0,0896 . 28800 = 2580 W.E.; oder von 1 cbm Kohlensäure aus Kohlenstoff durch die Gleichung 0,5363 . 8100 = 4344 W. E.

Tabelle IV.

Brennstoff verbrannt	Verbrennungsprodukt	gibt Verbrennungswärme
1 cbm Wasserstoff (H_2) zu	1 cbm Wasserdampf (H_2O)	2580 W. E.
1 „ „ „	flüssigem Wasser „	3064 „ „
1 „ Kohlenoxyd (CO) „	1 „ Kohlensäure (CO_2)	3007 „ „
0,5363 kg Kohlenstoff „	1 „ „ „	4344 „ „
0,5363 „ „ „	1 „ Kohlenoxyd (CO)	1326 „ „
1 cbm Methan (CH_4) „	1 „ CO_2 u. 2 cbm Wasserdampf	8583 „ „
1 „ „ „ „	1 „ CO_2 u. flüssigem Wasser	9548 „ „
1 „ Äthylen (C_2H_4) „	2 „ CO_2 u. 2 cbm Wasserdampf	14139 „ „
1,4315 kg Schwefel „	1 „ Schweflige Säure	3178 „ „

Nicht jeder Körper erwärmt sich durch die gleiche Wärme menge um gleichviel Grade, sondern die Temperaturerhöhung bei Zufuhr gleicher Wärmemengen ist von der Art des Körpers abhängig. Man bezeichnet als die *spezifische Wärme* oder *Wärmekapazität* diejenige Anzahl von Wärmeeinheiten, welche ein Körper bei einem Gewicht von 1 kg aufnimmt, bis er sich um 1° Cels. erwärmt hat.

Hiernach ist die spezifische Wärme des Wassers natürlich = 1, da ja der Begriff der Wärmeeinheit sich auf die zur Erwärmung von 1 kg Wasser von 0 auf 1° Cels. nötige Wärmemenge bezieht. Hat man G Kilogramm eines Körpers von der spezifischen Wärme s, so sind zur Temperaturerhöhung desselben um t° Cels. = G. s. t Wärmeeinheiten nötig. Die spezif. Wärme für einige feste und flüssige Körper ist folgende:

s für Wasser = 1,000
„ „ Alkohol = 0,700
„ „ Roheisen = 0,130
„ „ Stahl = 0,117
„ „ Messing = 0,094
„ „ Quecksilber = 0,033
„ „ Platin = 0,032
„ „ Kohlenasche = 0,250

Es sind also bei Quecksilber oder Platin nur 0,03 W. E. nötig, um 1 kg um 1° C. zu erwärmen, bei Eisen dagegen 0,13 W. E.; d. h. es muss hierbei dem Eisen 4 Mal soviel Wärme zugeführt werden und dem Wasser 30 Mal soviel, als dem Quecksilber.

Tabelle V.[1])

Spezifische Wärme für Gase und Dämpfe, Wasser = 1,0 gesetzt.

Gasart	Nebenstehende spezif. Wärmen sind gültig bei den Temperaturen	Spezif. Wärme bei konstant. Druck (Wasser = 1,0) für 1 kg	Gewicht von 1 cbm in kg	Spezif. Wärme von 1 cbm bei konst. Druck in Kilogramm-Wärm.-Einh.
Atmosphär. Luft .	0 bis 100° C.	0,2374	1,2939	0,307
Sauerstoff	13 „ 206° „	0,2175	1,4300	0,311
Stickstoff	0 „ 200° „	0,2438	1,2552	0,306
Wasserstoff	21 „ 100° „	3,4100	0,0896	0,3055
Kohlenoxyd	23 „ 99° „	0,2425	1,2513	0,3035
Kohlensäure	11 „ 214° „	0,2169	1,9663	0,4265
Wasserdampf	128 „ 217° „	0,4805	0,8046	0,387
Wasserdampf (niedrige Spannung)		0,4750	0,8147	0,387
Methan	18 „ 208° „	0,5930	0,7155	0,424
Äthylen	24 „ 100° „	0,3880	1,2518	0,486
Schweflige Säure .	16 „ 202° „	0,1544	2,8630	0,442

Die Angabe „spezifische Wärme für 1 kg bei konstantem Druck" bedeutet, dass bei der Erwärmung das sich ausdehnende Gas während des Versuches der Ermittelung der spezif. Wärme unter dem konstanten Druck von 760 ccm Quecksilbersäule gehalten wurde. Durch Multiplikation dieser experimentell gefundenen Zahlen (Spalte 2) mit dem Gewicht von 1 cbm der Gase in Kilogrammen erhält man die spezif. Wärme von 1 cbm Gas. Dieselbe ist für die ersten 5 in der Tabelle verzeichneten,

[1]) Stohm. u. Kerl, Bd. IV, S. 187/188.

schwer kondensierbaren Gase nahezu gleichgross; man kann für alle diese Gase einen Durchschnitt von 0,307 oder rund 0,31 in Rechnung setzen. Für die leichter kondensierbaren Gase: Kohlensäure und Wasserdampf, kann man ebenfalls die mitgeteilten Zahlen abrunden und zwar auf 0,43 für reine Kohlensäure und 0,39 für Wasserdampf.

XV.

Beziehungen des Kohlensäuregehaltes der Rauchgase zur Temperatur derselben.

Die höhere oder niedrigere Temperatur der Rauchgase für ein und dieselbe Feuerung steht in gewisser Wechselbeziehung zum Kohlensäure- und Sauerstoffgehalt derselben bezw. zum Gehalt an überschüssiger atmosphärischer Luft; sie ist erstens abhängig von der *Anfangstemperatur* auf dem Feuerherd, die vor allem durch das Feuerungsmaterial bedingt wird, zweitens von der Menge der dem Brennmaterial und den Verbrennungsgasen im Überschuss zuströmenden atmosphärischen Luft, wodurch die Anfangstemperatur ebenfalls wesentlich beeinflusst wird, und drittens von der Grösse der Heizfläche, welche einen mehr oder minder grossen Teil der erzeugten Wärme absorbiert.

Die letztere Ursache ist für eine gegebene Feuerungsanlage eine unveränderliche Grösse. Dagegen ist die Luftzufuhr bezw. der Luftüberschuss in den Verbrennungsgasen je nach der zeitweiligen Beschickung des Rostes und je nach der Stärke des Luftzuges in den Kesselzügen vielfach wechselnd und von allergrösstem Einfluss auf die Anfangstemperatur.

Je grösser der Luftüberschuss oder der Sauerstoffgehalt der Verbrennungsgase ist, desto mehr muss ebensowohl der Kohlensäuregehalt sinken, als auch die Temperatur derselben, weil die gleiche Menge der erzeugten Wärmeeinheiten auf ein grösseres Gasvolumen sich verteilt.

Für ein gegebenes Feuerungsmaterial wird stets bei gerade zur vollständigen Verbrennung ausreichender Luftzufuhr ein *Höchstgehalt* des Rauchgases *an Kohlensäure*, der sogenannte *Maximalgehalt*, erreichbar sein, der bei geringerer oder bei überschüssiger Luftzufuhr niemals weitersteigen, sondern immer nur sinken kann, entweder durch Beimischung unverbrannter Gase oder durch Beimischung der überschüssigen atmosphärischen Luft.

Für gewöhnlich ist der letztere Fall vorherrschend und es ist dann leicht möglich, *aus dem Kohlensäuregehalt des Rauchgases die Anfangstemperatur der Feuergase zu berechnen.* Kennt man ausserdem die *Abgangs-* oder *Endtemperatur* derselben bei ihrem Entweichen in den Schornstein oder in den Fuchs, so lässt sich dann, je nach dem Kohlensäuregehalt der Rauchgase, auch *der Wärmeverlust* berechnen, der durch die Rauchgase bedingt wird.

Zur Berechnung des Wärmeverlustes aus den Rauchgasen ist es zuerst nötig, die spezifische Wärme des trockenen Rauchgases zu wissen. Dieselbe hängt wesentlich vom Kohlensäuregehalt des Rauchgases ab, der ungefähr zwischen 8 und 18 % schwankt. Für den verschiedenen Kohlensäuregehalt stellt sich die spezifische Wärme des trockenen Rauchgases wie folgt:

Tabelle VI.

Kohlensäure-gehalt %	Wärme-kapazität für 1 cbm	Kohlensäure-gehalt %	Wärme-kapazität für 1 cbm
1	0,308	11	0,320
2	0,310	12	0,322
3	0,311	13	0,323
4	0,312	14	0,324
5	0,313	15	0,325
6	0,314	16	0,326
7	0,315	17	0,327
8	0,316	18	0,328
9	0,318	19	0,329
10	0,319	20	0,330

Es lässt sich nunmehr unter Benutzung der für je 1 % Steigerung des Kohlensäuregehaltes ermittelten spezif. Wärme der trockenen Verbrennungsgase *die Anfangstemperatur bei der Verbrennung von reinem Kohlenstoff berechnen:*

Sei die ganze entwickelte Wärme = W, die spezifische Wärme der Verbrennungsgase = S_v, so ist die Anfangstemperatur T folgende: $T = \frac{W}{S_v}$. Bei einem Kohlensäuregehalt von 1 % und von 20 % ist daher die Rechnung folgende:

$$\frac{4344 \cdot 0{,}01}{0{,}308} = 141^0 \text{ C.} \qquad \frac{4344 \cdot 0{,}20}{0{,}330} = 2633^0 \text{ C.}$$

Es ist hierbei vorausgesetzt, dass die sämtliche entwickelte Wärme zur Temperatursteigerung der Verbrennungsprodukte verwendet wird. In Wirklichkeit wird dies nie völlig der Fall sein können, da alsdann ein Teil Wärme an die Umgebung — Asche, Mauerwerk u. s. w. — verloren geht. Die Verhältnisse der Temperatursteigerung sind aber auch hierbei annähernd den nach der Formel berechneten proportional.

Zunächst gilt die Formel unter Benutzung der spezifischen Wärme des Kohlensäuregases nur für fast reine Kohle, also z. B. Holzkohle. Für Brennstoffe, die Wasserstoff, Sauerstoft und Wasser enthalten, wird die Berechnung durch Einführung der spezifischen Wärme des nicht aus reiner Kohlensäure bestehenden Verbrennungsgases natürlich umständlicher. Doch dürfte es für Manchen erwünscht sein, auch diese Berechnung sowie die Ableitung der hierzu benötigten Formeln klar gelegt zu sehen.

XVI.

Berechnung der Anfangstemperatur aus der Analyse der Brennstoffe und dem Kohlensäuregehalt des Verbrennungsgases.

Die gesamte Wärmeerzeugung setzt sich aus den durch den Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Schwefelgehalt der Kohlen bei deren Verbrennung erhaltenen Wärmeeinheiten zusammen, wobei der Sauerstoffgehalt des Brennmaterials an einen äquivalenten Teil des vorhandenen Wasserstoffes zu Wasser gebunden gedacht, von dem Wasserstoffgehalt abzuziehen ist und nur der nach dieser Berechnung noch frei bleibende Wasserstoff in Anrechnung gebracht wird.

Hiernach ist $W = 8100\,C + 34220\,(H - \frac{O}{8}) + 2500\,S.$

Dieser Wert für W bezeichnet die erzeugten Wärmeeinheiten pro Kilogramm der Substanz, wenn die Buchstaben C, H, O und S die Prozentanteile der bezüglichen Elemente bedeuten. Der Schwefel verbrennt nicht bloss zu Schwefliger-Säure, sondern teilweise auch zu Schwefelsäure, weshalb man die durch denselben erzeugten Wärmeeinheiten mit 2500 in Ansatz bringt, nicht nur mit 2220 W. für SO_2.

Diese gesamte durch die Formel ausgedrückte Wärmemenge ist jedoch noch um soviel zu kürzen, als das bei der Verbrennung gebildete, sowie das im Brennmaterial bereits vorhandene Wasser, in Dampfform an gebundener Wärme enthält, beziehungsweise Wärmeeinheiten bindet, welche nicht mit zur Temperaturerhöhung beitragen. Die latente Wärme des Wasserdampfes beträgt 536 W. E., die Temperatur desselben bei 760 mm Quecksilbersäule 100^0 C., die Gesamtwärme 636 W. E. Hiervon ist die messbare Wärme abzuziehen, die zur Erwärmung des Wasserdampfes bis zu 100^0 C. benötigt, $= 100 \,.$ spezifische Wärme $= 100 \,.\, 0{,}475$. Somit sind von den bei der Verbrennung erzeugten Wärmeeinheiten in der Formel für W noch abzuziehen:

$$-\,(9\,H + W)\,.\,(636 - 0{,}475\,.\,100).$$

Die spezifische Wärme S_v der Verbrennungsgase in der Formel $T = \frac{W}{S_v}$ setzt sich aus den spezifischen Wärmekoeffizienten der Einzelgase zusammen, multipliziert mit deren Menge pro kg der verbrannten Substanz.

Die zur Verbrennung des Brennmaterials benötigte Sauerstoffmenge beträgt für Kohlenstoff: 8 Teile O auf 3 Gewichtsteile C, oder $\frac{8}{3}$ C; für Wasserstoff: 8 H; für Schwefel 1 S. Hiervon geht die im Brennmaterial vorhandene Sauerstoffmenge ab. Dasselbe braucht also zu vollkommener Verbrennung an Sauerstoff aus der Luft $= \frac{8}{3} C + 8H + S - O$.

Wird ein Überschuss von Luft zugeführt, also mehr als die theoretisch benötigte Menge, welche wir hier = 1 setzen wollen, z. B. die n-fache Menge von 1, so ist der zugeführte Sauerstoff $= n\,(\frac{8}{3} C + 8H + S - O)$. Der Überschuss an Sauerstoff aber, welcher in den Feuergasen verbleibt, ist dann $= (n - 1)\,(\frac{8}{3} C + 8H + S - O)$.

Die auf den Sauerstoff der zugeführten atmosphärischen Luft entfallende Stickstoffmenge beträgt auf 23 g O stets 77 g N. Es geht daher an Stickstoff aus der zugeführten Luft in die Rauchgase über:

$$= \frac{77}{23}\, n\,(\frac{8}{3} C + 8H + S - O).$$

In den Rauchgasen sind aus dem Brennmaterial selbst, z. B. der Kohle, durch die Verbrennung erhalten: Aus 3 Gewichtsteilen C 11 Gewichtsteile CO_2 d. i. $= \frac{11}{3}$ C an Kohlensäure; aus 1 Gewichtsteil H 9 Gewichtsteile Wasserdampf = 9 H, wozu noch der Wassergehalt W des Brennmaterials selbst kommt; ferner aus 1 Gewichtsteil S 2 Gewichtsteile schweflige Säure oder = 2 S; endlich noch der Stickstoff-

gehalt N der Kohle selbst. Das Gesamtgewicht der Rauchgase ist daher folgendes:

$$\frac{11}{3} C + 2 S + N + (n - 1) (\frac{8}{3} C + 8 H + S - O) + \frac{77}{23} n (8 H + \frac{8}{3} C + S - O) + 9 H + W.$$

Diese Gase nehmen für je 1° Temperaturerhöhung soviel Wärmeeinheiten auf, wie ihrer spezifischen Wärme entsprechen. Ausserdem geht noch eine bestimmte Wärmemenge an die Asche des Brennmaterials verloren, welche noch derjenigen in den Rauchgasen hinzuzurechnen ist.

Multipliziert man also diese einzelnen Gewichtsmengen mit den bezüglichen spezifischen Wärmekoeffizienten, so hat man in der Summe die Anzahl Wärmeeinheiten, welche zur Temperaturerhöhung der gesamten Rauchgase nebst Asche um je 1° Cels. nötig sind. Dividiert man dann mit dieser Anzahl Wärmeeinheiten in die durch die Verbrennung von 1 kg Brennmaterial erzeugten Wärmeeinheiten, abzüglich der Wärme, die durch Verdampfung des dabei gebildeten oder im Sauerstoff- und Wasserstoffgehalt hypothetisch schon vorhandenen Wassers gebunden wird, so erhält man die Anzahl Grade Temperaturerhöhung, welche die Gase samt Asche erleiden.

Die auf diese Weise berechnete Temperatur T würde die Anfangstemperatur bedeuten, wenn die zugeführte Luft, wie auch das Brennmaterial mit der Anfangstemperatur von 0° C. angenommen werden. In Wirklichkeit wird die zugeführte Luftmenge meist eine höhere Temperatur besitzen, sodass zu den durch die Verbrennung erzeugten Wärmeeinheiten noch diejenigen hinzukommen, welche in der zugeführten Luft enthalten sind. Sei deren Temperatur = t° Cels., so betragen die in derselben enthaltenen Wärmeeinheiten:

$$= t\,n \left\{ (\frac{8}{3} C + 8 H + S - O) \,.\, \text{Spez. W. vom Sauerstoff} + \frac{77}{23} (\frac{8}{3} C + 8 H + S - O) \,.\, \text{Spez. W. vom Stickstoff.} \right\}$$

Mit Einführung der in Tabelle V mitgeteilten spezifischen Wärmen erhalten wir somit als Formelausdruck für T;

$$T = \frac{\overbrace{8100\,C + 34220\left(H - \frac{O}{8}\right) + 2500\,S}^{\text{Erzeugte Wärme.}} + \overbrace{tn\left\{\left(\frac{8}{3}C + 8H + S - O\right).0{,}2175 + \frac{77}{23}\left(\frac{8}{3}C + 8H + S - O\right).0{,}2438\right\}}^{\text{Durch Luft zugeführte Wärme.}} - \overbrace{(9H + W)(636 - 0{,}475\,.\,100)}^{\text{Durch Wasserdampf gebund. Wärme.}}}{\underbrace{0{,}25A}_{\text{Asche.}} + \underbrace{0{,}2169\frac{11}{3}C}_{\text{Kohlensäure.}} + \underbrace{0{,}1544(2S)}_{\text{Schwefl.Säure.}} + \underbrace{0{,}2438N}_{\text{Stickstoff.}} + \underbrace{0{,}2175(n-1)\left(\frac{8}{3}C + 8H + S - O\right)}_{\text{Überschüss. Sauerstoff.}} + \underbrace{0{,}2438\frac{77}{23}n.\left(\frac{8}{3}C + 8H + S - O\right)}_{\text{Stickstoff der Luft.}} + \underbrace{0{,}475(9H + W)}_{\text{Wasserdampf.}}}.$$

Diese Gleichung entwickelt und geordnet, ergibt den folgenden Wert für T:

$$T = \frac{8100\,C + 34220\,(H - \frac{O}{8}) + 2500\,S + tn\,(2{,}7565\,C + 8{,}2696\,H + 1{,}0337\,S - 1{,}0337\,O) - 5296{,}5\,H - 588{,}5\,W.^{1)}}{0{,}25\,A + 0{,}2153\,C + 2{,}535\,H + 0{,}0913\,S + 0{,}2175\,O + 0{,}2438\,N + n\,(8{,}2696\,H + 2{,}7565\,C + 1{,}0337\,S - 1{,}0337\,O) + 0{,}475\,W.}$$

Zum Vergleich zweier verschiedener Kohlen genügt es natürlich vollkommen, die Temperatur der zugeführten Luftmenge unberücksichtigt zu lassen und $= 0^0$ Cels. zu setzen, wodurch der Wert $tn \{\ldots\ldots\}$ fortfällt. Die späterhin mitgeteilten Anfangstemperaturen sind in dieser Weise berechnet worden.

Zur Berechnung von T, der Anfangstemperatur, sind uns nunmehr für eine gegebene Kohlenanalyse sämtliche Werte bekannt, mit Ausnahme des Wertes von n, das ist das Vielfache der theoretisch benötigten Luftmenge. Diesen Wert von n hatten wir früher bereits gelernt, aus den in den Rauchgasen ent-

[1]) Siehe auch: „Technische und gewerbliche Mitteilungen des Magdeburger Vereins für Dampfkessel-Betrieb“, Jahrgang 1877, Heft 6; Abhandlung von Direktor R. Weinlig, S. 33—40.

haltenen Volumprozenten an Stickstoff und überschüssigen Sauerstoff zu berechnen. Wir erhielten dort für L, der gesamten in die Feuerung eingeführten Luftmenge, wobei die theoretisch zur Verbrennung benötigte Menge = 100 gesetzt war, $L = \frac{100\,N}{N - \frac{79}{21}O}$. In der Formel für T haben wir statt L das Zeichen n gewählt und setzten die theoretisch benötigte Luftmenge = 1, wonach wir als Formelausdruck erhalten $n = \frac{N}{N - \frac{79}{21}O}$, welche Gleichung sich auch in die zumeist hier gebräuchliche Formel $n = \frac{21}{21 - \frac{79 \cdot O}{N}}$ umformen lässt, worin die Werte O und N in diesem Falle die *Volum*prozente an Sauerstoff und Stickstoff in den *trockenen* Rauchgasen bedeuten, d. h. ohne Berücksichtigung des Wassergehaltes derselben, ganz, wie man mit Hülfe des Hempelschen Apparates den Sauerstoff- und Stickstoffgehalt der Rauchgase bestimmt.

Wenn wir nun die Anfangstemperatur T bei der Verbrennung einer bestimmten Kohle bei verschiedenem Kohlensäuregehalt der Rauchgase — also bei verschiedenem Luftüberschuss — berechnen wollen, müssen wir den Wert n nach einem bestimmten vorausgesetzten Kohlensäuregehalt der Rauchgase ermitteln. Diese Berechnung erläutert sich am besten an einem Beispiel:

Eine Braunkohle habe folgende Zusammensetzung ergeben:

1 kg derselben enthalte	C	= 0,3301	kg
	H	= 0,0304	„
	O	= 0,1178	„
	S	= 0,0086	„
	N	= 0,0027	„
	H_2O	= 0,4476	„
	Asche	= 0,0628	„
		1,0000	kg

Nach den Einzelgliedern der oben entwickelten Formel für T erhalten wir hieraus: Kohlensäure $= \frac{11}{3} C$ kg $= \frac{11}{3} \cdot 0{,}3301 = 1{,}21037$ kg. 1 Liter CO_2 wiegt 1,9663 gr. Daher $\frac{1{,}21037 \cdot 1000}{1{,}9663} = \underline{615{,}5 \text{ Lit.}}$ CO_2.

Zur Verbrennung von C gebrauchter Sauerstoff

$$= \frac{8}{3} \cdot 0{,}3301 = 0{,}88027 \text{ kg O.}$$

Die zur Verbrennung freie Menge H beträgt:

$(H - \frac{O}{8}) = 0{,}0304 - \frac{0{,}1178}{8} = 0{,}015675$ kg freier H.

Der freie H verbraucht an
O der Luft = 0,125400 „ O (= 8 H)
gibt zusammen = 0,141075 kg Wasser aus freiem H.

Der Sauerstoff verzehrt
$\frac{O}{8} \cdot H = \frac{0{,}1178}{8} = 0{,}014725$ „ H (an O gebunden).
verbunden mit = 0,117800 „ O in der Braunkohle.

In der Kohle ist H an O
gebunden zu = 0,132525 kg Wasser.
Hierzu aus freiem H gebildete Menge Wasser = 0,141075 „ „
ferner der Wassergehalt der Kohle = 0,447600 „ „
In den Feuergasen entweichen = 0,721200 kg Wasser.

1 Lit. Wasserdampf wiegt 0,8147 g; daher $\frac{0{,}7212 \cdot 1000}{0{,}8147} = \underline{885{,}2 \text{ Lit.}}$ Wasserdpf.

1 Teil Schwefel verzehrt
$\frac{32}{2 \cdot 16}$ O-Teile = 0,0086 kg O.
verbunden mit S = 0,0086 „ S.
gebildet wird = 0,0172 kg SO_2.

1 Lit. SO_2 wiegt 2,8634 g
daher $\frac{0{,}0172 \cdot 1000}{2{,}8634} = \underline{6{,}0 \text{ Lit.}}$ SO_2.

An Sauerstoff der atmosphärischen Luft werden gebraucht zur Verbrennung vom C = 0,88027 kg O.

„	„	v. freiem H	= 0,12540 „ „
„	„	vom S	= 0,00860 „ „
		Summa	= 1,01427 kg O.

1 Lit. O wiegt = 1,4300 g

$$\text{daher } \frac{1{,}01427 \cdot 1000}{1{,}4300} = \underline{709{,}3 \text{ Lit.}} \text{ O der Luft.}$$

Auf 21 Lit. O sind: 79 Lit. N in der Luft;

daher auf = 709,3 Lit. O = 2668,3 Lit. N aus der Luft.

1 Lit. N wiegt 1,2552 g,

$$\text{daher } 2668{,}3 \text{ Lit. N} = \frac{2668{,}3 \cdot 1{,}2552}{1000} = 3{,}3492 \text{ kg N.}$$

Hierzu kommen noch aus der Braunkohle = 0,0027 „ „

In den Rauchgasen sind vorhanden Sa. = 3,3519 kg N.

$$\text{Dem Volumen nach sind dies } \frac{3{,}3519 \cdot 1000}{1{,}2552} = \underline{2670{,}5 \text{ Lit.}} \text{ N.}$$

Die trockenen Rauchgase bestehen daher

aus	1,21037 kg CO_2	=	615,5 Lit. CO_2
und	3,35190 „ N	=	2670,5 „ N
„	0,01720 „ SO_2	=	6,0 „ SO_2.
Sa.	4,57947 kg	=	3292,0 Lit. Gase.
Dazu kommt an Wasserdpf.	0,72120 „	=	885,2 „ „
Die feuchten Rauchgase ergeben in Summa:	5,30067 kg	=	4177,2 Lit. Gase.

Die darin enthaltenen trockenen Rauchgase sind noch auf den Prozentgehalt zu verrechnen und man erhält dann:

615,5 Lit.	=	18,7 % CO_2
2670,5 „	=	81,1 „ N
6,0 „	=	0,2 „ SO_2.
3292,0 Lit.	=	100,0 %.

Ist kein Luftüberschuss vorhanden, wie bei dieser Zusammensetzung der Rauchgase, so ist der hier gefundene Gehalt von 18,7 % CO_2 der höchstmögliche, der *Maximalgehalt an Kohlensäure.* In diesem Falle ist der Sauerstoffgehalt = Null, daher wird der Wert n = 1, denn $n = \dfrac{21}{21 - \dfrac{79 \cdot O}{N}} = \dfrac{21}{21} = 1.$

Soll aber nunmehr für einen beliebigen niedrigeren Kohlensäuregehalt, sagen wir für 8 % CO_2 im Rauchgas, der Wert für n berechnet werden, so hat die aus 1 kg Brennmaterial gebildete Menge Kohlensäure, das sind in unserem Falle 615,5 Lit., den Prozentsatz von 8 % im Verhältnis zu den Gesamtrauchgasen (trockenen) auszumachen, und wir erhalten den Ansatz:

y: 615,5 = 100 : 8
y = 7693,75 Lit. Rauchgase.
Es sind aber = 3292,00 „ trockene Verbrennungsgase vorhanden.

4401,75 Lit. atm. Luft müssen somit hinzukommen.

Diese enthalten $\frac{4401,75 \cdot 21}{100}$ = 924,3675 Lit. O.
und 3477,3825 „ N.
Sa. 4401,7500.

Hiernach kommen noch in die Rauchgase = 3477,3825 Lit. N.
Die reinen Verbrennungsgase enthalten = 2670,5000 „ „
Daher Sa. 6147,8825 Lit. N.

Die gesamten trockenen Rauchgase haben also jetzt dem Volumen nach und prozentisch folgende Zusammensetzung:

Stickstoff	= 6147,8825 Lit.	=	79,9075 %.
Sauerstoff	= 924,3675 „	=	12,0145 „
Kohlensäure	= 615,5000 „	=	8,0000 „
Schweflige Säure	= 6,0000 „	=	0,0780 „
Sa.	7693,7500 Lit.	=	100,0000 %.

Wir erhalten nunmehr den Wert für n bei 8 % CO_2 in den trockenen Rauchgasen aus der Braunkohle von der angegebenen Zusammensetzung

$$n = \frac{21}{21 - \frac{79 \cdot 12,0145}{79,9075}} = 2,3023243.$$

In dieser Weise ist nach der gegebenen Formel für T die Anfangstemperatur für den um je 1 % steigenden Kohlensäuregehalt der trockenen Rauchgase für Braunkohle (Seite 105) berechnet worden. Die in der folgenden Tabelle gegebenen Anfangstemperaturen für die übrigen vermerkten Brennmaterialien sind dem mehrfach erwähnten Werk Prof. Buntes über die „Heizstoffe“ in Stohmann u. Kerl's Encyklopädie entnommen.

Tabelle VII.

Beziehung zwischen dem Kohlensäuregehalt der Verbrennungsluft und der Anfangstemperatur bei einigen Brennstoffen:

Kohlensäuregehalt der Verbrennungsgase in Prozenten.	Anfangstemperaturen bei Verbrennung von[1]					
	reiner Kohle ⁰ Cels.	Saar-Kohle ⁰ C.	Torf ⁰ C.	Mineral-Öl ⁰ C.	Leucht-gas ⁰ C.	Braun-kohle ⁰ C.
1	141	167	141	221	283	143
2	280	331	276	436	552	281
3	418	493	407	644	808	412
4	556	652	533	845	1052	538
5	693	808	655	1040	1285	659
6	829	961	773	1230	1509	775
7	964	1112	887	1414	1722	887
8	1098	1261	997	1590	1927	994
9	1227	1407	1110	1770	2123	1097
10	1359	1550	1210	1940	2311	1197
11	1490	1692	1310	2100	2492	1293
12	1616	1830	1400	2260	2659	1385
13	1745	1968	1500	2420	—	1475
14	1874	2102	1590	2570	—	1561
15	2001	2237	1680	2710	—	1644
16	2128	2366	1760	—	—	1724
17	2254	2494	1850	—	—	1802
18	2380	2621	1930	—	—	1878
19	2504	—	2010	—	($18,7^0/_0 CO_2$)=	1929
20	2630	—	2090	—	—	—
21	2750	—	—	—	—	—

Der Berechnung dieser Tabelle ist folgende Zusammensetzung der Brennstoffe zu Grunde gelegt:

[1]) Tabelle aus Stohmann u. Kerl „Encyklopädie", Bd. IV, Seite 312.

Steinkohle	Torf	Mineralöl $C_n H_{2n}$	Braunkohle (siehe Seite 105)	Leuchtgas
Gewichts-Prozente.				Volum-Proz.
C = 84,45 %	C = 44,29 %	O = 85,7 %	C = 33,01 %	H_2 = 50
H = 5,43 „	H = 4,57 „	H = 14,3 „	H = 3,04 „	CH_4 = 30
O = 8,18 „	O = 29,20 „	100,0 %	O = 11,78 „	CO = 9
S = 0,78 „	Asche = 0,88 „		S = 0,86 „	$C_n H_n$ = 5
N = 1,16 „	Wass. = 21,06 „		N = 0,27 „	CO_2 = 3
100,00 %	100,00 %		Asche = 6,28 „	O = 0,5
			Wass. = 44,76 „	N = 2,5
			100,00 %	100,0

Bei Vergleichung der Zahlen fallen die nahezu gleichen Anfangstemperaturen für Torf und für Braunkohle in die Augen. Dies könnte überraschend erscheinen, weil der Gehalt an Kohlenstoff und Wasserstoff zusammen beim Torf 48,86 % beträgt, bei der Braunkohle nur 36,05 %. Ausserdem ist noch der Wassergehalt der Kohle reichlich doppelt so gross, als der des Torfes. Dass trotzdem der letztere fast nur die gleichen Anfangstemperaturen mit der Braunkohle ergibt, liegt hier in dem ausserordentlich hohen Sauerstoffgehalt des Torfes, der gerade $2^1/_2$ Mal so hoch ist, als derjenige der Braunkohle; sodass durch die im Torf bereits vorhandene teilweise Oxydation des Kohlenstoffes und Wasserstoffes der Heizeffekt sehr erniedrigt wird.

XVII.

Berechnung des Nutzeffektes von Feuerungsanlagen.

Aus der *Anfangstemperatur* T der Verbrennungsgase und der *Endtemperatur* oder *Abgangstemperatur* t derselben beim Eintritt in den Fuchs, lässt sich der *Nutzeffekt* U *der Feuerung* bemessen, da die erzeugte Wärme W zu der in den Rauchgasen verloren gehenden Wärme w sich verhält wie T zu t; die von der Feuerungs- und Kesselanlage aufgenommene *nutzbare Wärme* ist dann = W — w und entspricht = T — t.

Bei gleichartigem Brennstoff wächst nun, wie wir gesehen haben, die Anfangstemperatur mit dem Kohlensäuregehalt der Rauchgase, und es steht daher in diesem Falle der Wert W — w mit dem Kohlensäuregehalt der Rauchgase in unmittelbarer Beziehung. Wird die erzeugte Gesamtwärme W = 100 gesetzt, so ist die *Wärmeausnutzung oder der Nutzeffekt* U = 100 — w. Wir erhalten dann folgende Gleichungen:

$$W : W - w = T : T - t$$

$$100 : 100 - w = T : T - t$$

$$100 - w = U = \frac{(T - t)\,100}{T}$$

oder der *Wärmeverlust* $w = 100 \frac{t}{T}$

} in Prozenten der gesamten Wärmeerzeugung.

Angenommen, die Temperatur der Rauchgase übersteigt diejenige der Luft um 300 ⁰ Cels. und es sei hierbei mit Steinkohle gefeuert worden, für welche wir, unbeschadet dessen, dass deren Gehalt nicht ganz genau der oben mitgeteilten Saarkohle entspricht, als Annäherungswert die aus letzterer berechneten Anfangstemperaturen annehmen können, so erhalten wir bei verschiedenem Kohlensäuregehalt der Rauchgase folgende Nutzeffekte der Feuerungsanlage:

Tabelle VIII.

Für verschiedenen Kohlensäuregehalt berechnete Nutzeffekte einer Steinkohlenfeuerung.

Kohlensäuregehalt vom Rauchgas Vol. % CO_2	Abgangstemperatur minus Lufttemperatur t = ⁰ Cels.	Anfangstemperatur der Verbrennungsgase T = ⁰ Cels.	Wärme-Ausnützung U	Wärmeverlustprozente durch die Rauchgase $w = \frac{t \cdot 100}{T}$
18	300	2621	88,6 %	11,4 %
16	300	2366	87,3 „	12,7 „
14	300	2102	85,7 „	14,3 „
12	300	1830	83,6 „	16,4 „
10	300	1550	80,7 „	19,3 „
8	300	1261	76,2 „	23,8 „
6	300	961	68,8 „	31,2 „

Wie man sieht, ist selbst bei einer sogen. theoretischen Verbrennung, also ohne jeden Luftüberschuss, wie hier bei 18 % CO_2 als Maximalgehalt der Rauchgase, ein Wärmeverlust von 11,4 % durch die abziehenden Rauchgase unvermeidlich. In Wirklichkeit kann man, zumal bei Steinkohlen, ohne Luftüberschuss nicht feuern, wenn man nicht massenhaft unverbrannte Heizgase mit in die Rauchgase bekommen und dadurch wieder sehr wesentlich an Heizkraft verlieren will, besonders an derjenigen der hohe Hitze gebenden Kohlenwasserstoffe. Es wurde bereits früher hierauf verwiesen.

Wie aus den von Direktor Steffens mir zur Verfügung gestellten und aus den von Dr. Drawe veröffentlichten Rauchgasanalysen hervorgeht, ist ein Gehalt von rund 11 % CO_2 der Steinkohlenrauchgase als ein guter Durchschnitt anzusehen. Man würde dann bei den vorhin angenommenen 300° Cels. Temperaturerhöhung über Lufttemperatur als Nutzeffekt folgenden Wert erhalten:

$$U = \frac{(T - t)\,100}{T} = \frac{(1692 - 300)\,100}{1692} = 82{,}3\ \%$$

oder 17,7 % Wärmeverlust.

Dieser berechnete Verlust ist natürlich immer nur ein annähernder und vergleichsweiser; denn es wird für jede Kohle, entsprechend ihrer Zusammensetzung, ein besonders günstiges Überschussverhältnis der zuzuführenden Luft bestehen, bei welchem die nötige Entzündungstemperatur für die schweren Kohlenwasserstoffe erreicht wird, ohne dass der Luftüberschuss so gross wird, dass er abkühlend wirkt.

Die durch das Mauerwerk und durch Ausstrahlung des Verbrennungsherdes verloren gehende Wärme kommt natürlich noch zu dem in obigen Beispielen berechneten Verlust hinzu, ist aber, da sie eine ziemlich unveränderliche Konstante für jede bestehende Feuerungsanlage bildet, für die Beurteilung des Brennprozesses belanglos.

Bei der ausgeführten Berechnung ist die gleiche Abgangstemperatur für Gase von sehr verschiedenem Kohlensäuregehalt angenommen worden, um die direkte Beziehung desselben zum Wärmeverlust in den Rauchgasen anschaulich zu machen. In Wirklichkeit wird aber die Abgangstemperatur sich nicht gleich bleiben, da bei verstärkter Luftzufuhr — und gleichzeitig

dadurch sinkendem Kohlensäuregehalt — die Verbrennung rascher vor sich geht, die gesamte pro Sekunde erzeugte Wärmemenge steigt, desgleichen auch die Zuggeschwindigkeit. Die Folge ist, dass die Kesselwände nicht mehr imstande sind, die Wärme in dem Maasse wie bei geringer Zugstärke aufzunehmen; es wird also trotz Erniedrigung des Kohlensäuregehaltes die Abgangstemperatur steigen können, so lange als nicht ein Übermass an überschüssiger Luft abkühlend einwirkt. Je grösser die Kesselheizfläche bei gleicher Feuerungsanlage ist, desto niedriger wird die Abgangstemperatur sein, desto höher der Nutzeffekt. *Das beste Mittel der Kohlenersparnis ist daher immer eine möglichst grosse Heizfläche im Verhältnis zur Rostfläche, und natürlich zum Dampfverbrauche erst recht.*

Für Braunkohle ergeben sich bei einer Höhe der Abgangstemperatur über Lufttemperatur von 300° Cels. der Nutzeffekt und die Verlustprozente wie folgt:

Tabelle IX.

Für verschiedenen Kohlensäuregehalt berechnete Nutzeffekte einer Braunkohlenfeuerung.

Kohlensäuregehalt vom Rauchgas Vol. % CO_2	Abgangstemperatur minus Lufttemperatur t = ° Cels.	Anfangstemperatur der Verbrennungsgase T — ° Cels.	Wärme-Ausnützung U	Wärmeverlustprozente durch die Rauchgase $= \frac{t \cdot 100}{T}$
18	300	1881	84,05	15,95
16	300	1727	82,6	17,4
14	300	1563	80,8	19,2
12	300	1387	78,4	21,6
10	300	1199	75,0	25,0
8	300	996	69,9	30,1
6	300	776	61,3	38,7

Unter Berücksichtigung der während der Zeit der Entnahme der Rauchgase gleichzeitig beobachteten Temperatur derselben kann sich ein Jeder mit Hülfe der Tabelle VI und der Formel für U den Nutzeffekt, bezw. den Wärmeverlust durch die Rauchgase selbst ausrechnen.

In welchem Maasse in der Tat die Abgangstemperatur t von einer verschieden starken Luftzufuhr und demgemäss einem verschiedenen Kohlensäuregehalt der Rauchgase abhängig ist, zeigen 4 Heizversuche mit Koks, die auf der Heizversuchstation in München ausgeführt wurden,[1] bei sonst ganz gleichen Verhältnissen, unter denen die Verbrennung stattfand. Die Ergebnisse sind folgende:

	I	II	III	IV
Kohlensäuregehalt der Rauchgase	14,9%	13,8%	10,2%	8,8%
Abgangstemperatur t in ⁰ Cels.	174⁰	192⁰	203⁰	218⁰
Wirklich bestimmter Wärmeverlust in Prozenten der Gesamtwärme	10%	12%	15%	21%
Berechneter Wärmeverlust durch die Rauchgase	8,7%	14,4%	14,6%	20%

Der wirkliche Wärmeverlust stimmt mit dem berechneten ziemlich gut überein und man kann aus den gefundenen Zahlen den Nutzen ermessen, den eine scharfe Kontrolle des Kesselhausbetriebes durch stetige Untersuchung der Rauchgase gewährt. Ausserdem ersieht man aus den Versuchen ganz klar, wie mit fallendem Kohlensäuregehalt die Abgangstemperatur t steigt, einfach weil bei verstärktem Luftzug die Verbrennung eine stärkere, schnellere, und die Zuggeschwindigkeit eine grössere wird; sodass die Kesselwände nicht mehr imstande sind, die Gase ebensoweit abzukühlen, wie bei schwächerer Verbrennung. Je kleiner die Heizfläche im Verhältnis zum benötigten Dampfverbrauche, desto mehr tritt dieser Nachteil selbstredend in die Erscheinung.

Für Steinkohlen- und Braunkohlenfeuerung liegt die praktisch günstigste Abgangstemperatur bei Flammrohrkesseln im allgemeinen zwischen 225 bis 275⁰ Cels.

---

[1]) Siehe ausführlicher „Stohmann u. Kerl, Encyklopädie“, Bd. IV, S. 319, 320.

XVIII.

Über die Wertbestimmung der Heizmaterialien aus der Elementar-Analyse.

Es war oben gezeigt worden, wie man aus der Analyse einer Kohle die Anfangstemperatur und aus dieser und der Abgangstemperatur der Rauchgase den Nutzeffekt einer Feuerungsanlage berechnen kann.

Den Vergleichswert zweier Kohlen bezw. deren Güte kann man ferner auch unmittelbar nur aus der Zusammensetzung der Kohle berechnen und zwar nach dem bereits im vorigen Kapitel in Anwendung gebrachten Gesetz, dass die gesamte Verbrennungswärme eines Brennstoffes annähernd gleich ist der Summe der Verbrennungswärmen der einzelnen Bestandteile desselben. Ist das Brennmaterial abzüglich seines Wassergehaltes, also in völlig trockenem Zustande, wasserstoff- und sauerstoffhaltig, so wird bei der Berechnung der Verbrennungswärme vorerst der vorhandene Sauerstoff als an Wasserstoff gebunden angenommen, wie bereits früher bemerkt; der Rest an Wasserstoff, ferner der Kohlenstoff und ein vielleicht ausserdem vorhandener Gehalt an Schwefel, werden nach ihrem Prozentsatz mit ihrer in Tab. I mitgeteilten Verbrennungswärme multipliziert, wonach sich als Summe der Produkte die gesamte Verbrennungswärme des Brennmaterials ergibt.

Da bei der Verbrennung Wasserdampf gebildet wird, nicht flüssiges Wasser, so ist die Verbrennungswärme des Wasserstoffes zu Wasserdampf = 28800 W. E. (siehe Tab. I) in Rechnung zu setzen.[1]) Die im Wasserdampf enthaltene latente Wärme = 606,5° W. E. berechnet sich für 1 kg Wasserstoff = 9 kg Wasser zu rund 9 . 600 = 5400 W. E., welche zu den obigen 28800 W. E. hinzugezählt, die in Tab. I angegebene Verbrennungswärme des Wasserstoffs zu flüssigem Wasser = 34200 W. E. ergibt. Die Verbrennungswärmen des Kohlenstoffes und Schwefels waren ebendaselbst mit 8100 und 2220

[1]) Der Heizwert ist nach den vereinbarten „Normen für Leistungsversuche an Dampfkesseln" auf 1 kg ursprünglichen Brennstoffes (ohne Abzug von Asche, Feuchtigkeit u. s. w.) bezogen in Wärme-Einheiten anzugeben und die Berechnung geschieht unter der Voraussetzung, dass alles gebildete oder schon vorhandene Wasser dampfförmig wird.

W. E. (SO_2-Gas) bezw. 3226 (SO_3) verzeichnet. Dass man für Schwefel allgemein 2500 W. E. entsprechend der teilweisen Bildung von SO_3 neben SO_2 annimmt, war bereits erwähnt worden.

Enthält das Brennmaterial ausser C, H und O noch hygroskopisches Wasser, also Feuchtigkeit, so ist dasselbe bei der Verbrennung natürlich mitzuverdampfen und dessen Prozentsatz W, multipliziert mit der latenten Wärme des Wasserdampfes = rund 600, von der gesamten Verbrennungswärme abzuziehen. Die dieser Darlegung entsprechende Formel, die von Dulong aufgestellt worden ist, ist daher folgende:

$$W = 8080\, C + 28800\, (H - \frac{O}{8}) + 2500\, S - 600\, W.,$$

sie ergibt die *Verbrennungswärme* eines Brennstoffes unter Ausschluss der latenten Wärme des Wasserdampfes, und wird als *Gesamtheizwert*, vielleicht besser noch als *analytischer Heizwert* bezeichnet. Bei der Berechnung sind natürlich die in Prozentsätzen angegebenen Zahlen der Analyse mit 100 dividiert einzusetzen.

Da neuere Bestimmungen der Verbrennungswärme des Wasserstoffes die Zahl 29100 W.E. (nach Favre und Silbermann) ergeben haben, so haben sich der Verein Deutscher Ingenieure und der Verband der Dampfkessel-Überwachungs-Vereine zu der folgenden sogenannten „Verbandformel" geeinigt[1]) unter Abrundung der einzelnen Werte:

$$W = 8100\, C + 29000\, (H - \frac{O}{8}) + 2500\, S - 600\, W.$$

Die annähernde Übereinstimmung des analytischen Heizwertes mit dem in Wirklichkeit erzielbaren ist auf der Heizversuchstation in München für eine grosse Zahl von Kohlen nachgewiesen worden; nach der Verbandformel erhält man im Durchschnitt noch $^1/_2$ % Verbrennungswärme weniger als in Wirklichkeit. Es ergab z. B. eine Saarkohle mit 70,33 % C — 4,67 % H — 11,39 % O — 1,05 % S — 4,82 % W — 7,74 % Asche bei der Verbrennung 6663 W. E., wogegen die Verbandformel nur 6636 W. E. ergibt, das sind 0,4 % weniger.

Zumeist ermittelt man allerdings jetzt die Verbrennungswärme der Heizstoffe mit dem Kalorimeter; denn nicht alle Brennstoffe ordnen sich der obigen Formel bezüglich

---

1) „Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing." 1900. Bd. 44 No. 14.

ihres Brennwertes unter, und zwar um so weniger, je mehr Sauerstoff sie enthalten. Für Braunkohle und besonders für Steinkohle ist die Formel gut anwendbar. Der Torf mit seinem hohen Sauerstoffgehalt und noch vielmehr das Holz ergeben dagegen in Wirklichkeit bedeutend höhere Heizwirkung, als dem nach der Formel berechneten Heizwerte entspricht. Den annähernden Heizwert einer Kohle aber kann man sehr wohl mit Hülfe der Verbandformel auf Grund der Analyse berechnen.

Freilich ist hierbei noch zu beachten, dass die untersuchte Kohlenprobe einem *richtigen Durchschnitt* der Verbrauchkohle entsprechen muss; es gehört hierzu, dass man mehrere grössere Proben gleichmässig an einem zugfreien kühlen Ort möglichst rasch zerkleinert, gut mischt und die kleinere Durchschnittsprobe noch weiter zerkleinert, wiederum mischt und daraus das Untersuchungsmuster entnimmt, während welcher gesamten Prozedur das Ansammeln und Aufbewahren der Proben in luftdichten Behältern zu geschehen hat.

Eine einmal und beliebig entnommene Probe aus irgend einer Kohlenstrecke einer Grube stellt natürlich nie den Durchschnitt der Grubenlieferung dar, da auf den Förderstrecken verschiedenartige Kohlenschichten auftreten, die einen ganz verschiedenen Heizwert haben können. Hat man Tagebau, wie es z. B. auf den Braunkohlengruben Nachterstedt und Frose bei Aschersleben der Fall ist, so kann man sich Proben der verschiedenartigen Schichten verschaffen und nach deren Analyse den Unterschied im Brennwert der besten, mittleren und schlechtesten Kohlen sehr wohl beurteilen.

Bei *Steinkohlen*, die stets *nach Gewicht* verkauft werden, ist deren Güte ohne weiteres nach dem aus den Analysen ermittelten Verbrennungswert vergleichbar.

Für *mittlere Braunkohlen*, die bekanntlich nicht nach dem Gewicht, sondern *nach Raumeinheiten*, nach Hektolitern, abgenommen und verkauft werden, ist bei dem sehr verschiedenen, zwischen 42 bis 52 % schwankenden Wassergehalt derselben — hierbei von den harten böhmischen oder diesen ähnlichen Braunkohlen abgesehen — ein *Vergleich* nach den *aus der Gewichtsanalyse* berechneten Verbrennungswärmen *nicht* ohne weiteres zulässig. Es bedingt z. B. ein Zusatz von 0,1 Kilo Wasser zu 1 Kilo einer mittleren Braunkohle von 3700 W. E.

eine Erniedrigung der Verbrennungswärme dieser Kohle um 0,10 . 600 = 60 W. E. = 2,2 % des Heizwertes, auf das ursprüngliche Gewicht bezogen. Dagegen wird bei ein und derselben Kohle durch einen höheren gewichtsprozentischen Wassergehalt der Prozentgehalt an Kohlenstoff und Wasserstoff und der daraus berechnete Heizwert auf je 100 Gewichtsteile solcher feuchter Kohle in weit stärkerem Maasse herabgedrückt als obigem geringem Prozentsatze des Heizwertes, bezogen auf die ursprüngliche Kohle, entspricht, wie folgendes Beispiel beweist:

	Analysenbefund einer Braunkohle. I.		Bei 10 % Wasserzugabe berechneter Gehalt. II.
	33,01 % C		30,01 % C
{1,57 sog. freier nicht an O geb. H}	3,04 „ H	{1,42 sog. freier nicht an O geb. H}	2,76 „ H
	11,78 „ O		10,71 „ O
	0,27 „ N		0,25 „ N
	0,86 „ S		0,78 „ S
	6,28 „ Asche		5,71 „ Asche
	44,76 „ Wasser		49,78 „ Wasser
	100,00 %		100,00 %

Nach der Verbandformel berechneter Heizwert:

2882 W. E.	2563 W. E.

Ein Unterschied von 5 % Wassergehalt der Kohle bedingt hier, mit Zugrundelegung der Gewichtsanalyse der im übrigen ganz gleichen Kohle, einen Heizwertunterschied von 319 W. E., d. i. 11,07 % vom Gesamtheizwert, während dagegen die Erniedrigung des Heizwertes allein durch Mehrverdampfung von 5 % Wasser nur 0,05 . 600 = 30 W. E. oder 1,1 % beträgt.

Dieser grosse Unterschied liegt lediglich in dem Prozentsatz, der sich bei Kohle I auf 100 Teile der trockeneren Kohle, bei Kohle II auf 100 Teile der feuchten Kohle bezieht; und selbstverständlich kann man aus der Analyse I auch den Heizwert für Kohle II berechnen; denn diese hat in 110 Teilen den Heizwert der Kohle I, weniger der Verdampfungswärme von 10 Teilen Wasser, also 2882 — 60 = 2822, oder in 100 Teilen $\frac{2822 \cdot 100}{110} = 2563$ W. E.

Es geht aber hieraus hervor, dass ein nachträglicher Zusatz von Wasser zu einer zwar auf Grund der Analyse

gekauften, jedoch nach Raumeinheiten abzuliefernden Kohle deren Heizwert längst nicht in dem Masse erniedrigt, als ein entsprechend höherer bereits in der Kohle gegebener Wassergehalt den nach der Analyse zu bemessenden Kaufwert herabsetzt; oder mit anderen Worten: Bei einem Ankauf der Kohle nach dem Volum, nach Hektolitern, wie es bei Braunkohle meist geschieht, schadet derselben ein zuweilen etwas höherer Wassergehalt nicht und spielt, wenn er nicht übertrieben hoch ist, keine Rolle bezüglich des Kaufwertes derselben; beim Ankauf aber nach Gewicht bedeutet ein höherer Wassergehalt natürlich stets eine um das Mehrfache minderwertige Kohle.

Es mag bei dieser Gelegenheit vermerkt werden, dass für Feuerungen auf Treppenrosten, die für Kohlen von einer bestimmten durchschnittlichen Feuchtigkeit und Grösse angelegt sind, eine allzu trockene Braunkohle zuvor entsprechend angenetzt werden muss, damit sie nicht zu schnell und unverbrannt herunterschurrt; hier ist also diese Anfeuchtung durchaus nicht nachteilig, sondern im Gegenteil nur von Vorteil.

Sehr trockene Grubenbraunkohle wird häufig schon vor der Verladung angenetzt, damit sie nicht an der Luft zerfällt und verwittert, wodurch unter deren oxydierendem Einfluss der Gehalt an Kohlenwasserstoffen zurückgeht.[1]) Diese Annetzung ist, wenn sie nicht zu arg getrieben wird, nach allem Obigen beim Verkauf nach Hektolitern ohne nachteilige Bedeutung.

Es hat nun aber die Ermittelung des Heizwertes unzweifelhaft den Endzweck, festzustellen, ob der geforderte Preis mit dem Heizwert einer fraglichen Kohle im Einklang, bezw. in einem annähernd proportionalen Verhältnis zu demselben steht. Hiernach darf man zum Vergleich des Heizwertes verschiedener Proben mittlerer Braunkohlen, über deren Preiswert man sich klar werden will, nicht die Gewichtanalyse verschieden feuchter Kohlen bei der Berechnung des Heizwertes zu Grunde legen, da eben diese Kohlen nicht nach dem Gewicht verkauft werden. Man muss also zu einem solchen Vergleich die Analysen *auf gleichen Wassergehalt* umrechnen.

[1]) Der Heizwert einer Steinkohle ging nach Fayol, mitgeteilt von Brendel (siehe „Zeitschr. d. V. d. Rübenz.-Ind.“ 1894, S. 767), bei längerem Lagern von staubfreier Kohle von 8300 Kal. auf 7852 Kal. herunter; der Sauerstoffgehalt erhöhte sich von 10,8 % auf 15,0 %.

Man könnte ja auch die Analyse auf reine Trockensubstanz verrechnen, um Vergleichzahlen zu erhalten.

Es spricht jedoch hiergegen, dass dann die erhaltenen Wärmeeinheiten kein Bild mehr vom Brennwerte der Kohle im Verhältnis zu demjenigen anderer Brennstoffe ergeben. Ferner ist diesfalls auch die Tatsache zu berücksichtigen, dass etwa 4 bis 6 % des in der Braunkohle enthaltenen Wassers physikalisch oder chemisch fester gebunden sind, als der übrige Teil desselben, der als blosser Feuchtigkeitsgehalt der Kohle zu bezeichnen ist. Jene 4 bis 6 % verflüchtigen sich erst bei Temperaturen, die viel über 100° Cels. liegen, nicht aber über konzentrierter Schwefelsäure, wogegen das hygroskopische Wasser bereits bei nahezu 100° Cels., und auch über Schwefelsäure vollständig entweicht. Man bezeichnet jenes fester gebundene Wasser als *Konstitutionswasser.* Die Menge desselben ist jedoch nicht genau feststellbar; denn selbst wenn man bei 110° Cels. und mehr stundenlang erhitzt, erhält man doch nie ein vollkommen konstantes Gewicht, weil zuletzt bereits Teile der leichter flüchtigen Kohlenwasserstoffe mit entweichen. Um nun hierbei zu allgemein vergleichbaren Resultaten zu kommen, hat man sich geeinigt, die Wasserbestimmung der Braunkohle derart auszuführen, dass man, nach Abdunsten der Hauptmenge des Wassers, entweder über Schwefelsäure im Vakuum oder bei 105° im Kohlensäurestrom trocknet; letzteres, damit einer Oxydation der Kohle[1]) und etwa darin vorhandenen Schwefelkieses vorgebeugt wird. Beide Methoden geben dieselben Werte.

Es mag bezüglich der letzteren Methode noch bemerkt werden, dass man hierbei die Probe am besten in einem Trockengläschen abwägt, das mit doppelt durchbohrtem Korkstopfen und eingesetztem bis aus dem Trockenschrank herausführenden Glasröhrchen ausgerüstet ist, durch das man getrocknete Kohlensäure einleitet.

Die Verrechnung des Heizwertes der erdigen Braunkohlen auf 100 Trockensubstanz würde nach alledem zu einer wenig brauchbaren Vergleichsgrundlage mit anderen Kohlen führen und ist daher nicht empfehlenswert. Dagegen kann man als annähernden

[1]) Es verflüchtigt sich nach Seyffart sogar der Kohlenstoffgehalt der Knochenkohle bei Temperaturen von 105° an schon ein wenig. „Z. d. V. d. D. Rübenz.-Ind.“

Durchschnittsgehalt rund 50 % Wasser annehmen und auf diesen Wassergehalt die Analyse umrechnen. Es ist zwar dieser Gehalt als Durchschnittsgehalt etwas hoch; doch entspricht er der Forderung einer einfachen und dem Durchschnitt nahekommenden Zahl.

Für böhmische und ähnliche harte Braunkohlen, die ungefähr 25 % Feuchtigkeit enthalten und die nicht mehr nach der Raumeinheit sondern dem Gewichte nach gehandelt werden, ist natürlich die unmittelbar gefundene Gewichtanalyse zur Berechnung des Heizwertes ohne weiteres in Ansatz zu bringen.

Um ein Bild von der Zusammensetzung und dem Heizwert verschiedener Kohlen sowie einiger sonstigen Brennmaterialien zu geben, ist im letzten Abschnitt dieses Werkchens eine grössere Anzahl von Analysen nebst berechnetem Heizwert mitgeteilt. Für die mittleren Braunkohlen sind gemäss der obigen Darlegung in der betreffenden Tabelle, ausser den Ursprungs-Analysen und daraus berechneten Heizwerten, auch die bei 50 % Wassergehalt berechneten Analysenwerte und Verbrennungswärmen angegeben.

Wie man aus dem Vergleich dieser Heizwerte ersehen kann, sind die Kohlenproben aus ein und derselben Grube mitunter recht verschieden. Man ersieht daraus, dass man nicht wohl aus dem Ergebnis der Untersuchung *einer* Probe, besonders wenn dieselbe willkürlich oder zufällig genommen ist, auf den Durchschnittswert der Kohle einer ganzen Grube schliessen kann. Trotz dieser Einschränkung des Wertes einer einzelnen Untersuchung dürften immerhin die mitgeteilten Zahlen für denjenigen, der eine Durchschnittsanalyse seiner Gebrauchskohle besitzt, einen sehr brauchbaren Anhalt zur Beurteilung der letzteren bieten.

Bemerkt sei hier noch, dass die Elementaranalyse, auf deren Ergebnis die Berechnung der Verbrennungswärme fusst, peinlich genau auszuführen ist. Infolge der hohen Verbrennungswärme des Wasserstoffes ist der Gehalt an diesem von wesentlichem Anteil an dem Gesamtresultat. Alle Fehler der Elementaranalyse, die sich schliesslich in dem aus der Differenz der Summe der ermittelten Teile zu Hundert berechneten Sauerstoffgehalt ausprägen, werden wiederum auf die Berechnung des sogen. freien, an Sauerstoff nicht gebundenen

Wasserstoffes übertragen, indem der achte Teil des Sauerstoffes vom Gesamtwasserstoff abzuziehen ist.

Es wurden beispielsweise bei einer Doppelanalyse von Braunkohle die folgenden Zahlen gefunden, die allerdings ausnahmsweise stark differieren und gerade deshalb aus einer grossen Analysenzahl herausgegriffen sind:

C —	34,22 —	34,54
H —	3,59 —	3,46
S —	1,40 —	1,50
N —	0,18 —	0,22
H_2O —	47,07 —	47,86
Asche —	5,15 —	5,03
Diff. zu Hundert (O) —	8,39 —	7,39

Die Einzelunterschiede dieser Doppelanalyse summieren sich hier für den berechneten Sauerstoff zu dem ausnahmsweise hohen Betrage von 1,00 % und bewirken bei der Heizwertberechnung aus den beiden Analysen eine Differenz von 3261 gegen 3284 = 23 Kalorieen.

Noch ist bezüglich der oben mitgeteilten Formel zur Berechnung des Heizwertes zu bemerken, dass die berechneten Verbrennungswärmen nicht ganz genau dem wirklichen Heizwert entsprechen, und zwar deshalb, weil bei der Rechnung angenommen ist, dass durch den im Brennmaterial enthaltenen Sauerstoff ein äquivalenter Teil des vorhandenen Wasserstoffes zu Wasser gebunden sei, und dass hiernach der übrig bleibende Wasserstoff, als sog. freier Wasserstoff bezeichnet, gewissermassen im freien Zustand befindlich gedacht zur Verbrennung gelangt. Das ist natürlich nicht der Fall. Der Wasserstoff ist vielmehr in Form verschiedenartiger chemischer Verbindungen an Kohlenstoff gebunden und diese Verbindungen sind zum Teil sauerstoffhaltig. Dieselben haben eine jede ihre besondere Verbrennungswärme, wie solche ja auch für einige Kohlenwasserstoffe in Tabelle I mitgeteilt ist, und der Verbrennung geht ihre Zersetzung voraus, wobei Wärme gebunden wird. Die Resultante dieser Einzelwirkungen kann natürlich nicht genau mit der aus den freien Elementen dieser Verbindungen berechneten Gesamtwärme übereinstimmen.

Direkte Ermittelungen der erzeugten Verbrennungswärme haben jedoch für nicht zu stauerstoffreiche Brennstoffe eine

recht gute Übereinstimmung mit der Berechnung des Heizwertes nach der Verbandformel, bei Steinkohlen bis auf etwa 2—3 % Abweichung, ergeben,[1]) während Braunkohle schon grössere Unterschiede aufweist.

Wohl wenige Fabriklaboratorien sind zur Ausführung von Elementaranalysen vorbereitet, auch ist die Ausführung, wenn sie genau und peinlich geschieht, zeitraubend und nicht so ganz einfach. Wer daher mit weniger Mühe und Umständlichkeit, wie sie die Elementaranalyse mit sich bringt, in kurzer Zeit sich ein Bild des annähernden Vergleichswertes einiger Kohlenproben verschaffen will, dem bietet sich noch eine andere Art der Gütebestimmung dar, welche im Nachfolgenden beschrieben werden soll.

XIX.

Annähernde Wertabschätzung von Kohlen mittelst der Verkokungsprobe.

Diese Probe ist verhältnismässig einfach. Man erhitzt bei Steinkohlen nicht mehr als 1 g im bedeckten Tiegel von etwa 3 cm Höhe auf dem Platindreieck mittelst grossem Brenner bei allmählich zur starken Rotglut getriebenen Hitze so lange, als noch Gase sichtbar zwischen Deckel und Tiegel entweichen. Der Heizwert der Steinkohle ist annähernd um so grösser, je höher die Koksausbeute ist. Dieselbe beträgt bei guter Kohle ca. 80 %. Hat man vorher die Wasserbestimmung ausgeführt und verbrennt zuletzt den Koksrückstand bis auf den Aschenrest, so hat man Wasser, Asche, flüchtige verbrennliche Substanz und fixen Kohlenstoff (Koks minus Asche); hiernach lassen sich zwei verschiedene Steinkohlen einigermassen beurteilen.

Bei Braunkohlen ist deren Brennwert dem Koksrückstand viel weniger proportional als bei der Steinkohle, da sie im Durchschnitt etwa gleiche Prozente an fixem Kohlenstoff und an flüchtigen verbrennlichen Substanzen enthalten, auch im allgemeinen eine Braunkohle um so besser ist, je mehr gasförmige Bestandteile im Verhältnis zur gesamten verbrennlichen Sub-

---

[1]) Bunte in Stohmann u. Kerl's Encykl. IV, S. 281—315.

stanz vorhanden sind. Die Ausführung der Untersuchung geschieht hier wie folgt:

Man setzt stets 2 Kontrolluntersuchungen an und wägt je 10 g gepulverte Kohle im dünnen Porzellantiegel oder auch in einem *dünnen*, etwa 38 g schweren Messingtiegel von ungefähr 45 mm Höhe, 40 mm Boden- und 55 mm oberem Durchmesser ab. Ist der Messingtiegel erst einige Male gebraucht und hat sich innen mit einer Oxydschicht überzogen, so bleibt sein Gewicht his auf einige Milligramm Differenz bei je einer Untersuchung unverändert. Natürlich kann man hierzu auch einen Platintiegel benutzen; derselbe bietet aber den Nachteil, dass er durch schwefel- und eisenhaltige Asche sehr leidet.

Man bestimmt zuerst den Wassergehalt durch Trocknen in bereits früher bemerkter Weise und zwar trocknet man solange, bis das Gewicht nur noch binnen reichlich einer halben Stunde um 1 Centrigramm abnimmt. Nach Ermittelung der Trockensubstanz wird bei völlig geschlossenem Tiegel langsam und allmählich mit einem auf möglichst gelinde Hitze gestellten grossen Gas- oder Spiritusbrenner erhitzt. Wenn man zu Anfang die Hitze nicht sehr behutsam steigert, werden leicht Kohlenstaubteilchen durch das sich entwickelnde Gas mitgerissen, was man an dem entsprechenden Aufleuchten derselben in dem unter dem Deckel hervorströmenden und sich entzündenden Gas erkennt, das mit mehr oder weniger leuchtender Flamme brennt, um so leuchtender, je weniger stauerstoffreich, also je besser die Kohle ist.

Man hat vor dem Erhitzen darauf zu achten, dass der Tiegeldeckel ringsherum gut schliesst, der deshalb am besten einen recht knapp übergreifenden Rand besitzen soll, weil sich andernfalls leicht atmosphärische Luft dem im Tiegel befindlichen letzten Rest von Gasen beimischt und der Koksrückstand zum Teil verbrennen würde. Porzellantiegel und -deckel schliessen nie genau und eignen sich hierbei weniger, als gut gearbeitete Messingtiegel. Man kann auch die vor dem Erhitzen im Tiegel befindliche atmosphärische Luft durch Stickstoff oder Kohlensäure verdrängen, indem man durch ein kleines Loch im Deckel, das für gewöhnlich mit einem Messingplättchen bedeckt ist, reines Kohlensäuregas oder auch Stickstoffgas ein-

Tabelle X. Analysen[1]) von Braunkohlen mittelst der Verkokungsprobe.

Kohlenproben vom Jahre 1892	Doppel-Analysen					Durchschnitt-Analysen, verrechnet auf 50 % Wassergehalt				
	Wasser	Gase	Koks	Gase + Koks	Asche	Wasser	Gase	Koks	Gase + Koks	Asche
Grube Nachterstedt Waggonlieferung	44,32	24,61	25,15	49,76	5,92	50,0	22,40	22,32	44,72	5,28
	44,36	25,25	24,55	49,80	5,84					
vom alten Schacht direkt entnommen	45,60	22,90	26,08	48,98	5,42	50,0	21,00	24,00	45,00	5,00
	45,52	22,83	26,19	49,02	5,46					
vom Tagebau obere Schichten	46,70	21,17	26,26	47,43	5,87	50,0	19,50	24,93	44,43	5,57
	46,37	20,54	27,04	47,58	6,05					
Ausgesuchte Schwelkohle	42,94	31,01	19,37	50,38	6,68	50,0	27,26	16,94	44,20	5,80
	42,30	31,54	19,52	51,06	6,64					
vom Tagebau Durchschnitt	45,55	23,43	25,79	49,22	5,23	50,0	21,54	23,62	45,16	4,84
	45,54	23,49	25,65	49,14	5,32					
Grube Frose Waggonlieferung	49,81	22,37	21,75	44,12	6,57	50,0	22,06	21,46	43,52	6,48
vom Schacht direkt entnommen	46,83	23,12	24,21	47,33	5,84	50,0	21,74	22,77	44,51	5,49
" " " "	47,18	21,96	24,04	46,00	6,82	50,0	20,53	23,00	43,53	6,47
	47,18	21,42	24,57	45,99	6,83					
Grube Edderitz Waggonlieferung	47,00	24,65	22,65	47,30	5,70	50,0	23,41	21,18	44,59	5,41
	46,98	24,99	22,27	47,26	5,76					
vom Schacht direkt entnommen	47,91	25,66	21,50	47,16	4,90	50,0	24,32	20,89	45,21	4,72
	48,11	24,92	21,88	46,80	5,05					
Grube Unseburg ausgesuchte Schwelkohlenstücke, hellbraun	36,35	34,36	19,99	54,65	9,01	—	—	—	—	—
Grube Domsdorf bei Liebenwerda	56,44	17,20	23,31	40,51	3,05	—	—	—	—	—
	56,21	17,77	22,97	40,74	3,05					
Böhmische Kohle von Dux	21,94	29,43	46,05	75,48	2,58	—	—	—	—	—
	21,82	28,74	46,74	75,48	2,70					

[1]) Diese Analysen sind ohne Einleiten von CO_2 oder N in den Tiegel ausgeführt.

leitet, welch letzteres man sich mit Hülfe der Hempelschen Sauerstoffpipette ohne Mühe darstellt und aus der Messbürette in bekannter Weise in den Tiegel überleitet.

Sobald bei dem Erhitzen der Kohle die Gasentwicklung aufhört, lässt man den Tiegel noch 2—3 Minuten unter schwacher Rotglut stehen, der sodann nach mässiger Abkühlung unter den Exsikkator gebracht und schliesslich gewogen wird. Der Gewichtsverlust ergibt die gasförmigen Verbrennungsprodukte der Kohle. Die hierauf vorzunehmende Veraschung geht bei Braunkohle ziemlich leicht vor sich, und noch leichter, wenn man nach Muck[1]) nach der ersten noch unvollkommenen Veraschung den noch kohligen Rückstand mit Alkohol anfeuchtet, den Alkohol abbrennt und das Ganze von neuem zum Glühen bringt, was man nötigenfalls nochmals wiederholt. Die Kontrollbestimmungen der gasförmigen Bestandteile differieren bei gleichmässigem Arbeiten des Analytikers bis zu $^1/_2$ %, ausnahmsweise auch etwas mehr. Das Mittel der beiden Bestimmungen ist auch bei wiederholten Kontrollproben ziemlich konstant.

Wieviel gasförmige Verbrennungsubstanz sowie fixer Kohlenstoff in den gewöhnlichen mittleren Braunkohlen enthalten ist, gibt die umstehende Tabelle an. Zugleich kann man aus derselben ersehen, wie verschiedenartig die Kohlen aus ein und derselben Grube sein können.

Als Beispiel geringwertiger, wie auch hochwertiger Braunkohlen, sind die beiden letzten Analysen mit angeführt. Die Domsdorfer Kohle war trotz ihres hohen Wassergehaltes äusserlich nicht feuchter als gewöhnliche grubenfeuchte Braunkohle, sie ist daher eine sehr lockere, spezifisch leichte und minderwertige Kohle, deren gleiches Gewicht im Verhältnis zu den mittleren Braunkohlen einen grösseren Raum einnimmt. Bei solchen geringwertigen Kohlen wie auch bei den spezifisch schweren böhmischen Kohlen erhält man durch Umrechnung der Analyse auf 50 % Wassergehalt keinen Vergleichswert im Verhältnis zu mittleren Braunkohlen; derartige Kohlen sind nur der direkten Gewichtsanalyse nach annähernd mit den übrigen Braunkohlen vergleichbar.

---

[1]) Muck, „Chemie der Steinkohle“.

XX.

Heizwert-Bestimmungen mittelst der kalorimetrischen Apparate.

Die bisher beschriebenen Heizwertbestimmungen leiden teils an ziemlicher Umständlichkeit, teils auch an einigen Ungenauigkeiten.

Die exakteste Heizwertbestimmung ist diejenige mit Hülfe eines *Hochdruck-Verbrennungs-Kalorimeters*, das zuerst von Berthelot konstruirt wurde und aus einem starken eisernen innerlich massiv platinirten völlig dicht verschliessbaren Gefäss, der sogen. Verbrennungs-Bombe, besteht, in welchem die zu prüfende Kohlenprobe in reinem, unter hohem Druck — bis 25 Atmosphären — stehenden Sauerstoff schnell und völlig verbrannt wird, währenddem dieses Gefäss sich in einem Wasser-Kalorimeter befindet, das die Verbrennungswärme aufnimmt und dessen Temperaturzunahme genau gemessen wird.

Für technische Zwecke sind mehrere billigere Verbrennungs-Bomben konstruiert worden und zwar von Hempel[1]), von Mahler[2]), von Kroecker[3]) und von Langbein[4]).

Im Folgenden soll zunächst die Art der kalorimetrischen Bestimmung nach Hempel beschrieben werden, die bequem, sicher und schnell ausführbar ist. Die hierbei benutzte Verbrennungsbombe, in Fig. 26 skizziert, ist aus einem Stück weichstem Flusseisen hergestellt und im Innern emailliert.

Das Gefäss wird durch ein mit Schraubengewinde versehenes Kopfstück geschlossen, wobei als Dichtungsmittel Vulkanfiber oder Blei dient. Durch dieses Kopfstück führen zwei vertikale Durchbohrungen a und b; die erste derselben ist durch das Schraubenventil c gasdicht verschliessbar. Als Dichtungsmaterial für die Stopfbüchse des Ventils dient wiederum Vulkanfiber. Dicht über dem Ventilsitz führt eine horizontale Bohrung nach aussen, die in den Rohrstutzen d ausmündet. In die zweite nach unten schwach konische Durchbohrung b ist ein schwach konischer Eisenstift e eingesetzt und durch einen Gummischlauch von 2 mm lichten Durchmesser und 2 mm Wandstärke abgedichtet.

---

[1]) „Z. f. angewandte Chemie" 1892, S. 327, (siehe auch „Z. f. d. Zuckerind. d. D. Reiches" 1896, S. 177 u. f., u. 1896, S. 608). — [2]) Ebenda 1894, S. 757. [3]) „Z. d. V. d. D. Rübenz.-Ind." Bd. 46, S. 177 u. f. — [4]) „Z. f. ang. Ch." 1900, Heft 49/50.

Die letztere Abdichtung muss auf folgende Weise bewerkstelligt werden: man zieht den Gummischlauch durch die 4 mm breite Bohrung, schiebt den etwa 3 mm starken Eisenstift in das untere Ende des Schlauches und zieht sodann am oberen Ende des Schlauches, unter Nachschieben des Eisenstiftes, bis dieser weit genug in die Bohrung hineingeschoben

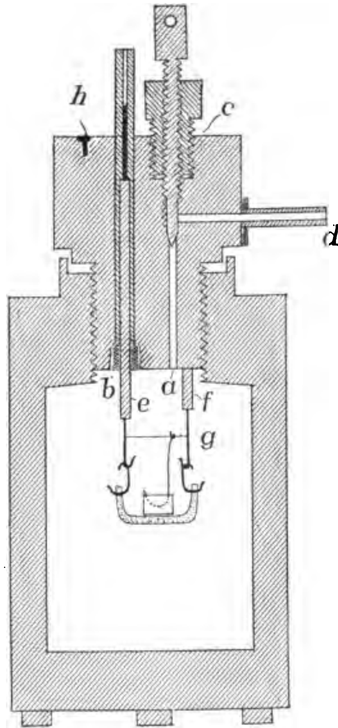


Fig. 26.

ist. Dann lässt man das obere Ende des Schlauches zurückschnellen und bewirkt so eine völlige Dichtung.

Um die Gummidichtung gegen Verbrennung in der Bombe zu schützen, entfernt man aus dem unteren Ende der Durchbohrung, welches etwas erweitert ist, den Gummi und füllt den Raum mit Asbest dicht an; dem Asbest ist ein Tropfen Wasserglas zuzusetzen.

Das obere Schlauchende schneidet man etwa 2 cm über dem Kopfstück ab und füllt es mittelst einer Kapillare bis zur Hälfte mit Quecksilber. Der isolierte Stift e sowie ein direkt am Kopfstück sitzender Eisenstift f tragen zwei etwa 1 mm starke Platindrähte, die miteinander dicht unter den Enden der Eisenstifte durch einen sehr dünnen Platindraht g verbunden sind. Die unteren Enden der beiden dicken Platindrähte sind hakenförmig gebogen; an die Häkchen hängt man ein kleines Körbchen aus Chamotte mittels zweier daran befestigter Platin-Ösen. Im Kopfstück der Bombe befindet sich noch eine kleine Höhlung h, die mit einigen Tropfen Quecksilber angefüllt ist. In diese Höhlung und in das mit Quecksilber gefüllte Schlauchende werden zur Entzündung der Kohle die Poldrähte einer Bunsenschen Tauchbatterie[1]) gesenkt. Der Quecksilberkontakt lässt sich auch durch einen verlängerten aus dem Schlauch herausragenden Stift mit aufzuschiebendem konischen Hütchen ersetzen.

Vor Benutzung der Hempelschen Bombe prüft man, wie weit man die Tauchbatterie einsenken muss, damit der dünne Platindraht g ohne zu schmelzen glüht, und geht bei den späteren Verbrennungen über diesen Punkt nicht hinaus.

Um ein brauchbares Material für kalorimetrische Bestimmungen zu erhalten, ist es nötig, grubenfeuchte Kohle vorher lufttrocken zu machen. Zu diesem Zwecke und gleichzeitig zur Ermittelung des hierbei verdunstenden Wassers zerkleinert man zunächst eine gute Durchschnittsprobe der noch grubenfeuchten Kohle möglichst schnell an einem zugfreien kühlen Ort auf etwa Haselnussgrösse, mischt gut durch, wägt davon 5 kg auf einer guten Balkenwage ab und breitet die Kohle auf einem grossen Papierbogen aus. Sobald kein Gewichtverlust mehr eintritt, wird die Probe bis zur Pulverform mög-

[1]) Die Erregerflüssigkeit für eine Tauchbatterie nach Bunsen, in die bekanntlich Zink- und Kohleplatten einander gegenüberstehend eintauchen, wird auf folgende Art bereitet: 0,765 kg käufliches pulverisiertes Kaliumbichromat werden in 832 ccm Schwefelsäure vom spez. Gew. 1,836 allmählich unter Umrühren eingetragen. Sobald sich dieser Brei in Chromsäure und schwefelsaures Kali umgesetzt hat, giesst man unter fortgesetztem lebhaften Umrühren 9,2 Liter Wasser in fingerdickem Strahl zu. Hierbei erhitzt sich der gleich anfangs heiss werdende Satz noch mehr und löst sich schliesslich vollständig auf.

lichst schnell gemahlen und eine grössere gewogene Menge davon solange dem weiteren Trocknen an der Luft ausgesetzt, bis Gewichtskonstanz eintritt. Das erhaltene Kohlenpulver wird luftdicht verschlossen aufbewahrt und dient sowohl zur kalorimetrischen Bestimmung wie zur Elementaranalyse.

Diese lufttrockene Kohle würde nun aber im staubförmigen Zustande in der Bombe nicht vollständig verbrennen. Man muss deshalb das Kohlenpulver in kleine Briketts umformen, wovon je eines zu einer Verbrennung benutzt wird. Wollte man hierbei grubenfeuchte Kohle nehmen, so würde eine Masse Wasser bei der Pressung ablaufen, weshalb dies schon wegen des Gewichtverlustes unzulässig ist. Dieserhalb ist völlige Lufttrockenheit zur Vermeidung solcher Verluste Vorbedingung.

Um die Entzündung eines Briketts in der Bombe mittelst der Batterie bewirken zu können, presst man in dasselbe einen etwa 10 cm langen weissen Zwirnfaden mit ein, der mit dem dünnen Platindraht verbunden wird, bei dessen Glühen sich entzündet und die Verbrennung auf das Brikett überträgt.

Zum Pressen der Briketts bedient man sich einer kleinen stählernen Form, die in nachstehender Skizze (Fig. 27) in natürlicher Grösse gezeichnet ist. Die Bohrung dieser zylinderförmigen Stempelpresse erweitert sich unten konisch zur Aufnahme des hineinpassenden Bodenstückes b, das die Form eines abgestumpften Kegels hat; die Mantelfläche desselben ist mit zwei sich gegenüberliegenden flachen Nuten versehen, durch welche der mit in das Brikett einzupressende Zwirnfaden eingelegt wird, wie in der Figur angedeutet ist.

Über dieses Bodenstück, das man von unten in die Presse hineindrückt und mit dem Finger festhält, schüttet man ca. 1,2 g der gepulverten Kohle, setzt den kleinen Stahlzylinder c darüber und den Stahlstempel d darauf. Sodann bringt man die Stahlpresse auf einen grösseren beidseitig ebenen Eisenklotz und schiebt diesen auf die Druckplatte einer gewöhnlichen Laboratoriums-Spindelpresse. Ist die Kohle unter mässigem Druck zusammengepresst, so lüftet man die Pressspindel ein wenig und ebenso die Stahlpresse so viel, dass das Bodenstück b herunterfällt und beseitigt werden

kann, wonach man durch abermaliges leises Anziehen der Presse das Brikett zum Ablösen aus der Form und Herabfallen in derselben bringt.

Mittelst der eigens hierzu konstruierten kleinen Spindelpresse erledigt sich die ganze Brikettherstellung noch leichter.

Das so gewonnene Brikett wird mit einem feinen Haarpinsel vom anhaftenden Kohlenstaub befreit, im bedeckten Uhrglas gewogen und nunmehr in das Chamottekörbchen gelegt, indem man zum Anfassen des Briketts sich der beiden Enden

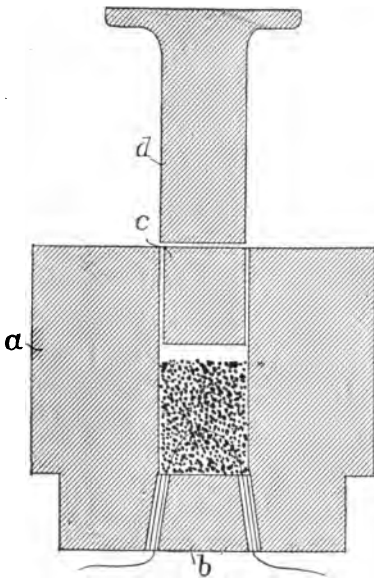


Fig. 27.

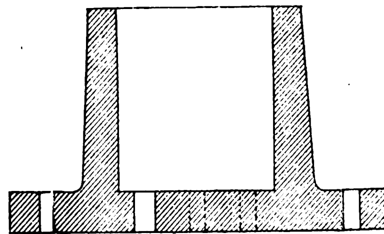


Fig. 28.

des eingepressten Fadens bedient. Man gebraucht hierbei die Vorsicht, das eine der beiden zum Wägen bestimmten Uhrgläser unter das Körbchen zu stellen, um etwa herabfallende Kohlenteilchen aufzusammeln. Das eine Ende des Fadens wird durch einen einfachen Knoten an dem dünnen Platindraht g befestigt, wonach alle überflüssigen Fadenstücke abgeschnitten und zurückgewogen werden.

Die Bombe wird nun mit der Vorsicht geschlossen, dass das Chamottekörbchen möglichst wenig Erschütterungen erleidet,

die ein Herunterfallen von Kohlenteilchen auf den Boden der Bombe veranlassen und diese der Verbrennung entziehen könnten, worauf das Kopfstück noch mit einem möglichst langen Schlüssel fest anzuziehen ist, um einen absolut dichten Schluss für etwa 15 Atmosphären Innendruck zu erhalten.

Um der Bombe bei diesem Anziehen des Kopfstückes einen ganz sicheren Stand zu geben, bringt man sie in den in Fig. 28 skizzierten, auf einen Tisch festgeschraubten Zylinderfuss, dessen Boden mit 3 Löchern derartig versehen ist, dass die 3 am Boden der Bombe befindlichen Füsse genau in diese Löcher hineinpassen.

Ist die Bombe geschlossen, so wird an das Kopfstück derselben auf der Seite, wo der kleine Rohrstutzen sitzt, ein mit Manometer versehenes Rohr unter Verwendung von Blei- oder Vulkanfiberdichtung angeflanscht, das zu einer mit verdichtetem Sauerstoff gefüllten eisernen Flasche, der sogen. *Sauerstoffbombe* führt. Man öffnet dann das Ventil c der Verbrennungsbombe unter ungefähr nur einer Drehung der Spindel und lässt durch vorsichtiges Öffnen der Sauerstoffbombe den Druck im Gefäss auf 5 Atmosphären steigen. Hierauf schliesst man die Sauerstoffbombe und bewirkt durch Lüften einer Schraube am Rohrflansch ein Entweichen des Überdruckes, sowie durch einmalige Wiederholung hiervon das Verdrängen der atmosphärischen Luft in der Bombe.

Die Schraube wird hierauf fest angezogen und die Sauerstoffbombe langsam geöffnet, bis der Druck auf 15 Atm. gestiegen ist. Hiernach schliesst man beide Bomben, flanscht die Verbrennungsbombe ab und setzt sie behufs Prüfung ihres dichten Schlusses in ein Becherglas mit Wasser. Falls durch das Ventil oder an der Kopfdichtung Gasblasen aus der Bombe entweichen, muss die betreffende Stelle durch Anziehen der Verschraubung völlig gedichtet werden. Sollte alles Anziehen mit dem Schlüssel nicht helfen, so sind die Dichtungen zu erneuern, eventuell ist das Ventil nachzuschleifen.

Zeigt die Bombe keine Undichtheiten mehr, so wird sie mit Filtrierpapier von allem anhängenden Wasser befreit und in das sogenannte *Kalorimetergefäss* eingesetzt.

Dasselbe (Fig. 29) ist ein blankes Metallgefäss, am besten aus versilbertem oder vernickeltem Messing, und von solcher Grösse, dass es die Verbrennungsbombe und reichlich

1 Liter Wasser aufnehmen kann. Es hat einen breit überstehenden Bord, mit dem es auf dem Rande eines zylindrischen Holzgefässes b aufliegt. Der aus 2 Hälften bestehende Deckel des Kalorimetergefässes hat 5 Durchbohrungen: eine für das Thermometer, zwei für die Poldrähte und zwei für das Rührwerk. Die eine Deckelhälfte, die zwei zur Durchführung der Poldrähte bestimmte Löcher besitzt, legt man zuerst auf, setzt

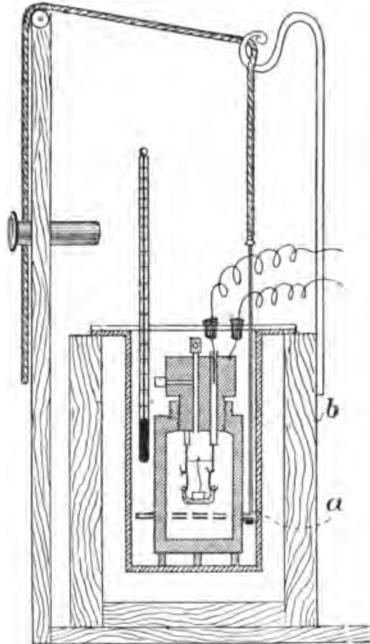


Fig. 29.

in die Löcher je einen zylindrischen Hartgummiisolator und führt durch diese die Poldrähte zu den Kontaktstellen. Dann giesst man genau ein Liter destilliertes Wasser, das um $1^1/_2$ bis 2^0 kälter ist als die umgebende Luft, in das Gefäss, legt die andere Deckelhälfte auf und setzt schliesslich das Thermometer ein.

Das Rührwerk wird nun so lange auf- und abbewegt, bis das in mindestens $^1/_{50}$ Grade geteilte Thermometer konstante Temperatur zeigt, wobei man, wie überhaupt während des ganzen Versuches, den Thermometerstand von Minute zu

Minute notiert, um ein genaues Bild der Temperaturbewegung zu erhalten. Zum Ablesen bedient man sich einer Lupe, sodass sich noch $^1/_{500}$ Grade abschätzen lassen. Sehr zu empfehlen ist hierbei, dass zur Abhaltung strahlender Wärme der Beobachter durch eine Holz- oder Glaswand vom Kalorimeter getrennt ist; man setzt dann die Lupe in einen verschiebbaren Teil dieser Wand an passender Stelle ein.

Nach dem Eintritt konstanter Temperatur senkt man die Tauchbatterie bis zu der bereits ermittelten Tiefe für ganz kurze Zeit — eine Sekunde — ein. Es erfolgt alsbald ein Steigen des Thermometers, währenddessen das Rührwerk so lange kräftig bewegt wird, bis das Maximum der Temperaturerhöhung erreicht ist und das Thermometer wieder zu sinken beginnt.

Bei ordnungsmässigem Verlauf der Untersuchung, wobei die Temperaturansteigerung plötzlich geschehen und in zwei bis drei Minuten fast beendet sein muss, ist die Kohle bis auf wenige Schlackenkügelchen verbrannt. Koks und Anthrazit müssen behufs Brikettierung zu $^1/_4$—$^1/_5$ mit einer geprüften gut brikettierenden backigen Kohle gemischt werden.

Da die entwickelte Wärme nicht allein an das Wasser, sondern auch an die Verbrennungsbombe, das Holzgefäss, das Thermometer etc. abgegeben wird, so ist es nötig, diese Wärmeabgabe, welche *Wasserwert des Kalorimeters* genannt und auch als *Eichung* desselben bezeichnet wird, vorher festzustellen und bei jeder Untersuchung in Rechnung zu ziehen.

Zu dem Zweck bestimmt man vorerst die Temperaturerhöhung bei Verbrennung eines Körpers von bekannter Verbrennungswärme. Nach Hempels Vorschlag benutzt man dazu Holzkohle, die in Form kleiner Zylinder im bedeckten hessischen Tiegel, unter einer Lage von Holzkohlenpulver, im heftigsten Feuer von allen vergasbaren Produkten befreit ist. Die halb erkalteten Zylinder werden in einem Exsikkator aufbewahrt. Von einigen dieser Zylinder bestimmt man den Aschengehalt und rechnet das Gewicht der verwendeten Holzkohle auf reinen Kohlenstoff um.

Den Wasserwert des Kalorimeters, d. h. die Menge an Kalorieen, die in Summa pro 1^0 Temperaturerhöhung von dem ganzen Kalorimeter aufgenommen werden, berechnet man,

unter Annahme des gebräuchlichen Wertes der Verbrennungswärme von reinem Kohlenstoff zu 8100 W. E. pro kg, oder zu 8,100 W. E. pro Gramm, nach folgendem Beispiel:

Gewicht des Holzkohlenzylinders = 0,7248 g.
Aschegehalt = 0,72 %.
somit reiner Kohlenstoff = 99,28 %.

Daher angewendete Kohlenstoffmenge = 0,7195 g.
Temperaturerhöhung bei der Verbrennung = 4,070° C.
Der verbrannte Kohlenstoff hat entwickelt
0,7195 . 8,100 = 5,82860 W. E.
Das Wasser allein hat aufgen. = 4,07000 „ „ (1 kg = 4,070° C.)
Also wurden zur Erwärmung
des Kalorimeters verbraucht = 1,75860 W. E., entsprechend auf 1° Temperaturerhöhung des Wassers $\frac{1,7586}{3,055}$ = 0,432 W. E., welche Zahl nun den *Wasserwert des Kalorimeters* darstellt.

Die Bestimmung dieses Wasserwertes wird zur Ermittelung eines richtigen Durchschnittes mehreremale wiederholt.

Wird nun z. B. bei der Untersuchung einer Kohlenprobe gefunden, dass die Verbrennung von 1,0354 g derselben (lufttrocken) eine Temperaturerhöhung von 4,230° C. bewirkt hat, so sind an das Kalorimeter 4,230 . 0,432 W. E. und an das Wasser 4,230 W. E. abgegeben worden, im ganzen also erzeugt:

$$(1{,}0 + 0{,}432) \cdot 4{,}230 = 1{,}432 \cdot 4{,}230 = 6{,}05736 \text{ W. E.}$$

Auf 1 g lufttr. Kohle kommen also $\frac{6,05736}{1,0354}$ = 5,852 W. E. oder auf 1 kg lufttr. Kohle = 5852 W. E., welche Zahl noch auf Rohkohle mit deren Wassergehalt zu verrechnen ist.

Die dann gefundenen Wärmeeinheiten stellen die *kalorimetrische Verbrennungswärme* der Rohkohle dar, aber noch nicht den in der Praxis verwertbaren Heizwert, wie wir später sehen werden.

Die hier beschriebene kalorimetrische Methode nach Hempel, welche nach Aneignung der nötigen Übung für je eine Untersuchung nur etwa eine Stunde Zeit einschliesslich der Vorbereitungen erfordert, gibt vorzüglich übereinstimmende Resultate bei ein und derselben Probe. Hauptbedingung bei

allen solchen Bestimmungen ist aber wiederum die, dass jede zur Untersuchung benutzte Kohlenprobe wirklich dem Durchschnitt der gelieferten Kohle entspricht, weshalb auf die richtige Probenahme garnicht Wert genug gelegt und bei derselben niemals zu peinlich verfahren werden kann. Ausserdem empfiehlt es sich, die Untersuchungen möglichst in einem nach Norden gelegenen Zimmer auszuführen, sodass dessen Temperaturschwankungen so gering wie möglich bleiben.

Weil dieselben indes nicht ganz zu vermeiden sind und bei der Verbrennung stets ein Strahlungsverlust stattfindet, hat man bei genau minutlicher Temperaturbeobachtung vor und nach dem Versuch aus den Differenzen pro Minute mittelst der sogen. Regnault-Pfaundler'schen Formel eine Korrektur der erhaltenen Wärmeeinheiten abgeleitet[1]), die jedoch die Grösse von $^1/_2$ % auf eine Gesamtwärme von 4^0 selten erreichen dürfte.

Diese Korrektur erübrigt sich — besonders weil bei Kohlen eine wahre Durchschnittsprobe unerreichbar ist —, wenn man bei der Feststellung des Wasserwertes annähernd soviel Wärme erzeugt, also Holzkohle verbrennt, wie bei der Untersuchung der gebräuchlichen Kohle etwa erreicht wird und wenn man die Anfangstemperatur des Wassers gegen die Zimmertemperatur um ca. die Hälfte der Wärmesteigerung tiefer hält (nicht über 2^0). Der Fehler der Ausstrahlung wird hierbei nahezu ausgeglichen[2]).

Die Kosten des gesamten kalorimetrischen Untersuchungs-Apparates nach Hempel betragen ca. 200 Mk. Die neuere Emaillierung der Bombe wird von der bei der Verbrennung gebildeten Schwefelsäure und Salpetersäure kaum noch angegriffen, hält ziemlich lange aus und lässt sich erneuern.

Der Vorzug der Hempel'schen für technische Zwecke vollkommen ausreichenden einfacheren Bombe besteht unter anderem auch in deren Billigkeit, welche die Beschaffung auch kleineren Laboratorien ermöglicht. Wenn man indessen eine grössere Ausgabe nicht scheut, so ist es vorteilhaft, die Bombe innerlich zu platinieren, wie es bereits Berthelot — mit etwa 1300 g wiegender Platin-Verkleidung — getan hat und jetzt Langbein[3]) bei seiner Bombe (mit ca. 90 g Platinverkleidung)

---

[1]) Ausführliches siehe: Stohmann, Kleber u. Langbein, 1889, „Journ. f. pr.Ch.", Bd. 39, 517. — [2]) Thiele, „Z. f. ang. Ch." 1900, 607. — Hempel, „Gasanal. Meth.", III. Aufl., 390. — [3]) „Z. f. angew. Ch." 1900, Heft 49, S. 1227.

in Anwendung bringt, auch von Hempel[1]) für elementaranalytische Zwecke angewandt wird. Der Platineinsatz hat den Vorteil, dass die bei sehr lebhafter Verbrennung abspringenden glühenden Kohlenstückchen an der inneren Wandung keine Emaille abreissen, und ferner dass die entstehende Schwefel- und Salpetersäure, ohne im geringsten das Innere der Bombe anzugreifen, quantitativ bestimmt werden können.

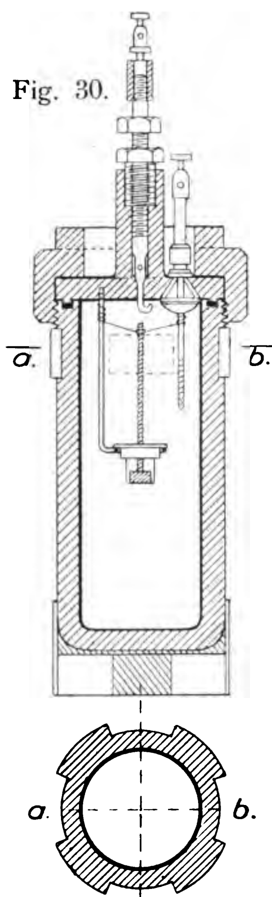


Fig. 30.

Die äusserlich vernickelte Langbeinsche Bombe (Fig. 30) ist mit dünnem Platinblech ausgelegt, das zum Teil angelötet ist und vom Bleiring im Dichtungsfalz festgehalten wird. Der Zuführungskanal für den Sauerstoff endet innerlich in einen kleinen U-förmigen Rohransatz, damit nicht durch den bis mit 25 Atm. Überdruck einströmenden Sauerstoff Kohlenteilchen vom Brikett fortgeschleudert und der Verbrennung entzogen werden können. Das Brikett wird im Platinschälchen mittelst am 0,1 mm starken Platindraht herabhängenden Zündfaden entzündet, der bei schnellem starken Anglühen des Drahtes diesen zum Schmelzen bringt und den Leitungsstrom unterbricht.

Die Bombe ist am oberen Mantel mit vier Ansätzen versehen, die genau in eine besondere feststehende Form mit entsprechenden Aussparungen hineinpassen, wodurch beim Einsetzen in dieselbe das Anziehen und völlige Dichten der Deckelschraube sehr erleichtert wird. Der kalorimetrische Apparat nach Langbein kostet bei Hugershoff i. Leipzig mit allem Zubehör, je nach Ausführung, 1000 bis 1200 Mk.

Es ist nun zum Vergleich der mit dem Kalorimeter gefundenen Verbrennungswärme mit dem durch die Verbandformel

[1]) Hempel, „Gasanalyt. Methoden", 1900, III. Aufl., S. 227.

aus der Elementaranalyse berechneten Heizwert noch nötig, das bei der Verbrennung gebildete, sowie das in der feuchten Kohle schon vorhandene Wasser zu bestimmen und die Gesamtwärme des entsprechenden Wasserdampfes von den gefundenen Kalorieen abzusetzen. Man hat also die Gesamtmenge des Wassers auf 1 kg Substanz mit dem Faktor 600 zu multiplizieren, das erhaltene Produkt von der kalorimetrisch gefundenen Wertzahl abzuziehen und dann den Restwert auf naturfeuchte Kohle zu verrechnen, um den *nutzbaren Heizwert* der Kohle zu erhalten, bei dem alles Wasser in Dampfform von 100° C. anzurechnen ist.

Gewöhnlich bestimmt man dieses bei der Verbrennung der Kohle erhältliche Wasser durch Elementaranalyse; man kann dasselbe aber auch mit Hülfe der Bombe bestimmen.

Hempel[1]) ermittelt diesfalls das bei der Verbrennung der Kohle gebildete Wasser aus der Gewichtszunahme einer für analytische Zwecke konstruierten kleinen leichten Bombe, abzüglich der Asche und der bei der Verbrennung gebildeten Schwefelsäure- und Salpetersäureanhydride, welch letztere durch Titration gefunden und zusammen auf Schwefelsäure berechnet werden.

Kroeker[2]) ermittelt den Gesamtgehalt an Wasser der lufttrockenen Kohle, indem er an die Verbrennungsbombe noch ein zweites Ventil am Kopfstück anbringt. Nach der Verbrennung setzt er dieses mit einem gewogenen Chlorcalciumrohr in Verbindung und erhitzt die Bombe auf 105° C. im Ölbad. Nach dem langsamen Entweichen des Überdruckes leitet er einen trockenen Luftstrom in die Bombe und mittelst des zweiten Ventiles durch das Chlorcalciumrohr; aus der Gewichtzunahme desselben wird das bei der Verbrennung gebildete Wasser berechnet. Von der Schwefelsäure werden hierbei ca. 1 bis 2 % Wasser zurückgehalten, je nach dem Schwefelgehalt der Kohlen.

Man hat oft Mühe, schon nur ein Ventil dicht zu erhalten, so dass die Arbeit mit 2 Ventilen jedenfalls zeitraubender sein dürfte.

In den Rauchgasen ist sowohl Schwefelsäure als Schwefligesäure enthalten, in der Bombe dagegen nur Schwefelsäure, sowie Salpetersäure aus dem Stickstoff der Kohle und dem-

[1]) Dr. W. Hempel, Gasanalyt. Methoden, III. Aufl. 1900, S. 395.

[2]) Zeitschr. d. V. d. Deutsch. Rübenzucker-Industrie. Bd. 46, S. 177 u. f.

jenigen des käuflichen Sauerstoffes — bis 5 % — weshalb die kalorimetrische Verbrennungswärme ein wenig zu hoch ausfällt.

Langbein[1]) bringt behufs dieser Ermittelung vor der Verbrennung 10 ccm Wasser in die Bombe, spült nach derselben mit Wasser aus, vertreibt die absorbierte Kohlensäure durch Erhitzen, neutralisiert mit $^1/_{10}$ Norm. Barytwasser, versetzt mit gemessener überschüssiger Sodalösung von 3,706 g Na_2CO_3 im Liter — 1 ccm dieser Lösung entspricht 1 W. E. für die vorhandene Salpetersäure in dem zu $BaCO_3$ verwandelten $BaNO_3$ —, filtriert den kohlensauren und schwefelsauren Baryt ab und bestimmt im Filtrat die überschüssige Soda mit $^1/_{10}$ Norm. Salzsäure, wodurch zugleich der Schwefelsäuregehalt ermittelt wird.

Die Korrektur beträgt für je 1 % Schwefel 22,5 W. E. und 1 W. E. für je 1 ccm Sodalösung für die Salpetersäure.

Man kann natürlich die Schwefeläure auch in Form von Baryumsulfat, und ferner mit Abzug dieser die Salpetersäure alkalimetrisch bestimmen, oder man bringt für die letztere einfach durchschnittlich 15 W. E. in Abzug.

Schon Berthelot[2]) wies darauf hin, dass man mit der kalorimetrischen Bombe auch Elementaranalysen ausführen kann. Kohlenstoff und Wasserstoff bestimmt man hierbei durch Absaugen und Absorption der in der Bombe gebildeten Menge von Kohlensäure und Wasser mittelst der bekannten Apparate. Hempel[3]) sowohl als auch Langbein haben hierfür kleinere Bomben konstruiert, von denen die von Hempel wägbar ist. Indes hat die Methode sich noch nicht eingebürgert.

Zum Vergleich mit dem aus der Analyse mittelst der Verbandformel berechneten Heizwert würde von den kalorimetrisch erhaltenen Wärmeeinheiten nach allem Obigen der Wert $\frac{n}{100} . 600 = 6\,n$ abzuziehen sein, wenn n die Prozente des in der Bombe vorhandenen Wassers bedeuten.

[1]) Dr. H. Langbein, Chemische und kalorimetrische Untersuchung von Brennstoffen, „Z. f. angew. Ch." 1900, Heft 49 u. 50.

[2]) M. Berthelot, „Praktische Anleitung zur Ausführung thermochemischer Messungen", 1893.

[3]) W. Hempel, „Gasanalyt. Methoden", III. Aufl., S. 390, und „Ber. d. Deutsch. chem. Ges." 1897, S. 202.

Für die meisten der in der Praxis in Betracht kommenden Fälle dürfte es ausreichend sein, den durchschnittlichen Wasserstoffgehalt der betreffenden Kohlensorte auf Wasser umzurechnen, ferner den Wassergehalt der Kohle durch Trocknen in bekannter Art zu bestimmen und nun die Summe beider Werte, multipliziert mit 6, von der kalorimetrischen Verbrennungswärme in Abzug zu bringen. Als durchschnittlichen Wasserstoffgehalt[1]) kann man nach Vereinbarung der Kessel-Revisions-Vereine, mangels einer Analyse, auf 100 Teile reiner Kohlensubstanz der verschiedenen Kohlen in Rechnung setzen:

für	Braunkohlen	6 % H
„	Steinkohlen	5,5 % „
„	Anthracite	4 % „

Man darf gerade bei Kohlenproben nicht vergessen, dass ein genauer Gesamtdurchschnitt nur schwach annähernd erreicht wird, so dass jede Methode, die in ihrer Genauigkeit hierüber um das vielfache hinausgeht, schliesslich letzte Dezimalwerte ergibt, die praktisch als entbehrlich sich erweisen.

Zum Schluss sei hier noch ein *Beispiel für die Berechnung des nutzbaren Heizwertes* einer Kohle gegeben:

Wir hatten mit dem Kalorimeter als Verbrennungswärme einer lufttrockenen Kohle (böhmische Braunkohle) 5852 W. E. gefunden. Diese Kohle wies grubenfeucht 26,60 % Wasser und lufttrocken 12,05 % Wasser auf und hatte 3,4 % Asche. Demnach hatte die lufttrockene Kohle 100 — (12,05 + 3,4) = 84,55 % reine Kohlensubstanz. Zieht man nun bei dieser Kohle als Durchschnittsgehalt der reinen Kohlensubstanz 6 % Wasserstoff in Rechnung, so würden in der lufttrockenen Kohle $\frac{84{,}55 \cdot 6}{100} = 5{,}07$ % H enthalten sein, woraus bei der Verbrennung 5,07 . 9 = 45,63 % Wasser entstehen. Da in der lufttrockenen Kohle 12,05 % Wasser gefunden wurden, so würden bei der Verbrennung derselben im ganzen 45,63 + 12,05 = 57,68 % Wasser erzeugt werden, welche 57,68 . 6 = 346,1 oder rund 346 cal. haben. Dieselben müssen von den direkt gefundenen Wärmeeinheiten in Abzug

[1]) Vergl. auch „Z. f. öff. Ch." 1897, Heft V, Dr. H. Langbein.

gebracht werden; die lufttrockene Kohle hatte also 5852 — 346 = 5506 cal. nutzbaren Heizeffekt.

Die grubenfeuchte Kohle hatte vor der lufttrockenen noch einen Feuchtigkeits-Mehrgehalt von 26,60 — 12,05 = 14,55 % Wasser, sie enthielt also in 100 Teilen 85,45 Teile der obigen lufttrockenen Kohle, welcher $\frac{5506 \cdot 85{,}45}{100} = 4705$ W.E. entsprechen. Zur Berechnung des nutzbaren kalorimetrischen Heizwertes dieser grubenfeuchten Kohle muss man von obigem Werte noch die Verdampfungswärme der höheren Grubenfeuchtigkeit 14,55 . 6 = 87,3 W. E. abziehen, sodass man für die untersuchte Braunkohle schliesslich einen nutzbaren Heizwert von 4705 — 87 = 4618 W. E erhält.

XXI.

Heizwert-Bestimmungen durch Verdampfungs-Versuche.

In der Praxis wird der Heizwert verschiedener Kohlensorten vorzugsweise nach der Menge des Wassers bemessen, die durch 1 kg der zu prüfenden Kohle verdampft wird. Man führt derartige vergleichende Versuche stets mit ein und derselben Feuerungs- und Kesselanlage aus, und zwar in der Weise, dass die Versuchsbedingungen möglichst dieselben bleiben, damit sich währenddem die bei jeder Feuerungsanlage auftretenden Wärmeverluste möglichst konstant erhalten. Der praktische Heizwert verschiedenartiger Kohlen kommt dann nur noch in der verschiedenen Anzahl Liter Wasser zum Ausdruck, die auf ein gleiches Gewicht Kohle verdampft werden.

Bei der Ausführung eines solchen Verdampfungsversuches ist natürlich vor allem die Menge der verfeuerten Kohle und die Menge des verdampften Wassers innerhalb einer bestimmten Zeit genau festzustellen, bei möglichst gleichförmiger Dampfentnahme und annähernd sich gleichbleibendem Dampfdruck während der Versuchzeit. Es ist nötig, dass die Kohle *zugewogen* wird, da ein Zumessen sehr unsichere Werte ergibt. Vor Beginn und nach Schluss des Versuches, den man 8 bis 10 Stunden andauern lässt, ist bei Treppenrosten der meist ziemlich grosse Füllrumpf oben genau glatt einzuebnen.

Die Menge des verdampften Wassers wird durch Messen des gebrauchten Speisewassers ermittelt; es ist hierbei natürlich nötig, dass zu Beginn und zu Ende des Versuches der Wasserstand in dem Wasserstandglase des Kessels genau gleich hoch sei. Zur leichteren Erkennung des gleichen Standes empfiehlt es sich, bei Beginn des Versuches die Höhe des Wasserstandes durch einen auf das Standglas geklebten Papierstreifen zu markieren. Da das Wasser in den Gläsern selten ganz still steht, wird der mittlere Stand angezeichnet. Eine kleine Unsicherheit bezw. ein geringer Fehler bleibt hierbei unvermeidlich, der jedoch bei längerer Dauer des Versuches gegenüber der grossen Menge des verdampften Wassers ziemlich verschwindet, ebenso wie der zeitweilig etwas ungleiche Kohlenverbrauch sich bei längerer Dauer des Versuches mehr dem richtigen Durchschnitt nähert. Aus demselben Grunde büssen Versuche von kürzerer Zeitdauer, als mindestens 8 Stunden, sehr an Wert ein.

Das Abmessen des Speisewasserverbrauches geschieht am besten in zwei mit Wasserständen versehenen grossen, stehenden Zylindern, wozu sich in Zuckerfabriken alte Knochenkohlenfilter gut verwenden lassen, von denen abwechselnd je einer mit der Speisepumpe verbunden wird, währenddessen der andere durch Zulauf — z. B. von Kondens- oder Brüdenwasser — wieder gefüllt wird. Man füllt und entleert während des Versuches am einfachsten stets bis zu der gleichen oberen und unteren Marke des Wasserstandes vom Messgefäss, misst natürlich vor Beginn des Versuches den Gesamtraum genau aus, was am genauesten durch Auswägen geschieht, und kann am Ende des Versuches den nicht leergelaufenen Rest einer Füllung leicht bestimmen. Die Messgefässe werden zweckmässig mit Thermometer zur Bestimmung der Temperatur des Speisewassers versehen. Bei annähernd gleichmässiger Temperatur desselben genügt deren Feststellung kurz vor Entleerung je eines Gefässes.

Während des Versuches darf nicht unmässig geschürt werden, sondern das Feuer ist wie beim gewöhnlichen Betriebe bloss regelrecht zu erhalten.

Es sind während des Versuches folgende Aufzeichnungen vorzunehmen: Nach jeder halben Stunde ist die Temperatur

der Rauchgase festzustellen. Dies geschieht mittelst eines guten Pyrometers, das bis zu $^1/_3$ Fuchshöhe, von oben gerechnet, in den Fuchs eingesenkt wird. Gleichzeitig ist der jeweilige Kesseldruck zu notieren. Ausserdem wird die Stellung der Schieber notiert, sowie des öfteren die Zugstärke, die möglichst gleichmässig zu halten ist. Endlich entnimmt man mit Hülfe des kleinen Aspirators mehrere Male Rauchgasproben, die in bekannter Weise untersucht werden, und ausserdem kann man mit dem grossen Aspirator während des ganzen Versuches sich eine Durchschnittsprobe der Rauchgase verschaffen.

Sind alle Daten richtig aufgezeichnet, so werden nach Schluss des Versuches die Ergebnisse in folgender Weise zusammengestellt und verrechnet:

Beispiel.

Notizen.	Versuch I.	Versuch II.
Heizfläche	79,0 □ m.	79,0 □ m.
Ganze Rostfläche (Treppenrost in horizontaler Projektion)	3,0 □ m.	3,0 □ m.
Verhältnis der Gesamtrostfläche zur Heizfläche	1 : 26,3.	1 : 26,3
Dauer des Versuches	9 St. 40 M.	9 St. 10 M.
Temperatur des Speisewassers, Durchschnitt	80^0 Cels.	82^0 Cels.
Temperatur der Fuchsgase, Durchschn.	268^0 „	241^0 „
„ „ „ , höchste Temperatur	285^0 „	278^0 „
Temperatur der Fuchsgase, tiefste Temperatur	252^0 „	191^0 „
Dampfspannung (über Atmosphärendruck) Durchschnitt	4,05 Atm.	3,9 Atm.
Dampfspannung, höchste	4,15 Atm.	4,0 Atm.
„ tiefste	3,8 „	3,8 „
Stellung des Kesselschiebers	ganz offen	gedrosselt
Zugstärke vor dem Kesselschieber in mm Wassersäule	17 mm	15 mm
Speisewasser verbraucht	18003,2 Lit.	17621 Lit.
Braunkohle verbrannt	8670 Kilo	7820 Kilo.

		Versuch I.	Versuch II.
Gasanalysen, die Gase sind dem letzten Kesselzug entnommen.	CO_2	15,0	17,1
	O	4,4	2,5
	CO	0,0	0,0

Berechnung.

Pro Stunde Wasser verdampft	1862,4 Lit.	1922,0 Lit.
„ „ Kohlen verbrannt	897 Kilo	853 Kilo
„ „ u. □m Rostfläche Kohle verbrannt .	299 „	284 „
„ „ u. □m Heizfläche Wasser verdampft	23,57 Lit.	24,3 Lit.
1 Kilo Kohle hat Wasser verdampft	2,08 L. v. 80° C.	2,25 L. v. 82° C.

Die letzten beiden Verdampfungswerte müssen noch auf Liter Wasser von der durchschnittlichen Temperatur des kalten Speisewassers reduziert werden, z. B. von 20° Cels.

Die Gesamtwärme des Dampfes ist nach Regnault $\lambda = 606{,}5 + 0{,}305\ T$, wenn T die bei der herrschenden absoluten Dampfspannung (Manometeranzeige + Atmosphärendruck) vorhandene Temperatur des Dampfes bedeutet. Von dieser Gesamtwärme kommt die Wärme des kalten Speisewassers mit 20° C. in Abzug. Wird dagegen heisses Wasser gespeist von der Temperatur t, so ist der im Dampf vorhandenen Gesamt-Wärme über die Temperatur des kalten Wassers noch die Wärme des heissen Speisewassers über 20° C. zugeführt worden, welche somit von der Gesamtwärme abzuziehen ist, um die lediglich durch das Heizmaterial zugeführte Wärme bezw. deren Verdampfungswert in Betracht zu ziehen.

Wir erhalten also für die durch das Heizmaterial im Kessel erzeugten Wärme-Einheiten:

$$606{,}5 + 0{,}305\ T - 20 - (t - 20) = 606{,}5 + 0{,}305\ T - t.$$

Daher reduziert sich der Verdampfungswert für 1 Kilo Kohle und für heisses Speisewasser auf solches von 20° C. nach der Gleichung:

$$(606{,}5 + 0{,}305\ T - 20) : (606{,}5 + 0{,}305\ T - t) = W : \lambda$$

wenn W den im Versuch ermittelten Verdampfungswert bedeutet.

Hiernach ergibt sich
für Versuch I T = 152,5°. t = 80° C. λ = 1,85 Lit. v. 20° C.
„ „ II T = 151,5°. t = 82° C. λ = 1,99 Lit. v. 20° C.

Es hat also 1 Kilo Kohle Wasser von 20° C. verdampft: im Versuch I = 1,85 Lit. und im Versuch II = 1,99 Lit.

Die hier angewendete Kohle war eine sehr minderwertige. Für erdige Braunkohle von mittlerer Güte erreicht man im allgemeinen mit Treppenrostfeuerungen bei Flammrohrkesseln eine Verdampfungsfähigkeit von 2,5 bis 2,7 Lit. Wasser pro Kilo Kohle. Mit Steinkohlen stellt sich bei Flammrohrkesseln der Wert auf 7 bis $7^1/_2$ Lit. Wasser pro 1 Kilo Kohle.

In den angeführten Beispielen ist die Inanspruchnahme der Kessel eine normale, denn ein Flammrohrkessel mit Treppenrostfeuerung soll pro Stunde und □ m Heizfläche 20—25 Lit. Wasser verdampfen. Trotz der Anwendung der gleichen Kohlensorte liegt der Verdampfungswert beim ersten Versuche tiefer als beim letzten. Ein Blick auf die Ergebnisse der Gasanalysen und der Temperatur der Rauchgase zeigt uns, dass der erste Versuch mit etwas zu starkem Zug unternommen ist; denn die Abgangsgase zeigen einen niedrigeren Kohlensäuregehalt und eine höhere Temperatur.

Müssen in einem wie oben beschriebenen Kesselbetriebe wesentlich mehr als 25 Lit. Wasser pro Stunde und □ m Heizfläche verdampft werden, um dem Dampfbedarf zu genügen, so kann dies bei gleicher Art des Feuerungsmaterials nur dadurch geschehen, dass die Zugstärke und damit die Abgangstemperatur erhöht wird, wobei zwar mehr Kohle verbrannt und mehr Wasser verdampft wird, aber auch die Leistung pro Kilo Kohle heruntergeht und der Betrieb unökonomisch wird. Es ist daher solchenfalls vorteilhafter, die Heizfläche zu vergrössern, bezw. mehr Dampfkessel aufzustellen.

Aus den Versuchen geht ausserdem recht deutlich hervor, dass es für den Feuerungstechniker unerlässlich ist, alle hier beschriebenen Hülfsmittel — die Gasanalyse, den Zugmesser, das Pyrometer, die Kalorimetrie und den Verdampfungsversuch — zu Rate zu ziehen, um das erstrebte Ziel einer möglichst grossen Kohlenersparnis zu erreichen.



XXII.

Zusammenstellung von Analysen einiger Heizmaterialien.

Tabelle XI.

Bezeichnung	Durch die Analyse gefunden: H_2O	C	H	S	O	N	Asche	Kalorieen*)
Erdige Braunkohlen.								
Grube Robert bei Wanzleben	47,47	34,38	3,53	1,45	7,88	0,20	5,09	3276
„ Georg bei Aschersleben	47,96	32,39	3,17	1,72	7,81	0,22	6,73	3014
„ Archibald bei Schneidlingen	48,05	32,54	2,85	1,59	8,90	0,31	5,76	2892
„ Friedrich Christian	45,93	33,98	3,21	1,45	9,10	0,26	6,07	3113
„ konsol. Georg, Königsaue	47,77	31,99	2,97	1,67	9,00	0,26	6,34	2880
„ Concordia, Nachterstedt	44,92	34,32	2,83	0,75	11,93	0,30	4,95	2918
Braunkohlenwerk Edderitz	47,31	33,04	2,76	0,73	10,43	0,28	5,45	2834
„ Frose	46,70	33,01	3,05	1,33	10,65	0,27	4,99	2926
„ Preisslitz	47,39	31,48	2,61	1,38	11,06	0,28	5,80	2657
	Obige Braunkohlen auf 50 % Wassergehalt berechnet:							
Grube Robert bei Wanzleben	50,00	32,72	3,35	1,38	7,52	0,19	4,84	3083
„ Georg bei Aschersleben	50,00	31,12	3,05	1,65	7,50	0,21	6,47	2874
„ Archibald bei Schneidlingen	50,00	31,32	2,74	1,53	8,59	0,28	5,54	2759
„ Friedrich Christian	50,00	31,42	2,97	1,34	8,42	0,24	5,61	2835
„ konsol. Georg, Königsaue	50,00	30,62	2,84	1,59	8,60	0,24	6,11	2733
„ Concordia, Nachterstedt	50,00	31,15	2,57	0,67	10,85	0,27	4,49	2591
Braunkohlenwerk Edderitz	50,00	31,35	2,62	0,69	9,91	0,25	5,18	2657
„ Frose	50,00	30,97	2,86	1,25	9,99	0,25	4,68	2707
„ Preisslitz	50,00	29,92	2,49	1,31	10,50	0,27	5,51	2498

*) Die Kalorieen sämtlicher Heizmaterialien sind nach der Verbandformel berechnet.

Tabelle XI. (Fortsetzung.)

Bezeichnung	Durch die Analyse gefunden:							Kalorieen
	H_2O	C	H	S	O	N	Asche	
Braunkohlen.								
Uslar[1])	50,12	30,04	2,10	1,12	14,8	0,76	1,06	2230
Hangelsberg bei Berlin[1])	49,89	31,71	2,09	0,60	10,05	0,62	4,04	2525
Bauersberg, hell Lignit[1])	10,74	60,44	5,30	0,86	22,01	Spuren	0,65	5592
Antonstolln, Bayern[1])	22,40	34,80	3,00	3,80	20,70	2,40	12,90	2898
Antonstolln, Pechkohle[1])	3,00	72,45	3,80	1,50	13,73	—	5,55	6491
Roth, Bayern[1])	23,50	39,10	2,75	6,5	8,25	0,90	19,00	3969
Böhmische Braunkohlen.								
Brüxer Kohle	26,43	50,09	3,44	*	15,73	0,29	4,02	4325
„ Viktoria-Schacht[2])	28,06	48,63	3,54	*	13,01	0,95	5,81	4321
„ Julius-Schacht Nuss[2])	30,40	49,63	3,97	*	11,51	0,85	3,64	4566
„ Humboldt-Schacht[2])	29,59	49,53	3,79	*	12,41	0,97	3,71	4480
Dux, Marienschacht[2])	25,74	51,45	3,81	*	11,42	0,93	6,65	4698
„ Bruch[2])	23,63	50,45	3,91	*	16,90	0,65	4,46	4463

Anmerkungen: Die unter [1]) aufgeführten Kohlenanalysen sind dem „Handbuch der chemischen Technologie“ von Dr. F. Fischer entnommen, die unter [2]) stammen aus dem Laboratorium von Dr. Nevole & Neumann in Prag.

* Die mit dem Stern bezeichneten Stellen bedeuten, dass die betreffenden Bestandteile des Brennstoffes in der Analyse nicht bestimmt worden sind. Die denselben zukommenden Prozentzahlen sind in der zugehörigen Sauerstoffzahl mit enthalten.

Tabelle XI. (Fortsetzung.)

Bezeichnung	Durch die Analyse gefunden:							Kalorieen
	H_2O	C	H	S	O	N	Asche	
Osseg, Nelson-Schacht[2]	24,68	51,89	3,82	*	13,88	0,88	4,85	4657
„ „ „	10,01	65,77	5,02	0,66	15,54	*	3,00	6177
Pankraz	7,58	67,21	3,77	*	10,01	0,26	11,17	6129
Pilsen-Priesen-Komotau	29,14	46,48	3,41	*	14,21	0,22	6,54	4063
Deutsche Steinkohlen.								
Königshütte, Oberschlesien	8,82	70,38	4,07	*	11,85	0,59	4,29	6077
„ Förderkohle[1]	4,23	60,27	3,27	1,22	10,72	0,68	20,83	5447
„ Nusskohle[1]	5,56	73,36	4,32	0,41	10,22	1,10	5,44	6800
Hermenegilde, Niederschlesien	2,60	71,02	4,17	*	11,46	0,18	10,57	6532
Waldenburg, Schlesien, Nusskohle[1]	2,15	75,28	4,27	0,90	8,98	0,93	8,39	7021
Plutoschacht, Ruhrkohle	1,66	81,75	5,11	1,04	9,09	*	1,35	7792
Unser Fritz I, Ruhrkohle[1]	—	76,36	4,39	1,42	8,15	1,69	8,05	7198
Unser Fritz II, Ruhrkohle[1]	—	83,15	4,84	0,42	8,74	1,32	1,53	7833
Maybach, Flötz II, Saarkohle	1,60	79,67	5,21	0,70	8,37	*	4,45	7668
Duttweiler, Saarkohle[1]	—	83,63	5,19	—	9,06	0,60	1,52	7951
Deister[1]	—	67,41	4,37	2,34	8,28	1,36	16,24	6487
Böhmische Steinkohlen.								
Kladno, Stückkohle[2]	8,98	60,77	3,33	*	8,74	0,88	17,30	5514
„ Kleinkohle[2]	12,78	57,98	3,54	*	9,81	0,89	15,00	5285
Pilsen, Austriaschacht[2]	7,06	64,66	3,98	*	9,47	0,76	14,07	6001
Schatzler, Nusskohle[2]	4,35	71,71	4,38	*	10,16	0,82	8,58	6678

Tabelle XI. (Fortsetzung.)

Bezeichnung	Durch die Analyse gefunden:							Kalorieen
	H_2O	C	H	S	O	N	Asche	
Mährische Steinkohlen.								
Ostrauer, Concordia[2])	4,20	72,99	4,45	*	8,93	1,10	8,33	6849
„ Erzherzog Albrecht	3,22	74,21	4,19	*	9,82	0,33	8,23	6847
„ Wilczek	2,91	77,06	4,50	*	11,22	0,19	4,12	7123
Rossitz[2])	1,38	73,62	4,21	*	6,22	0,92	13,65	6946
„ Ferdinand[2])	1,07	64,85	3,54	*	5,96	0,68	23,90	6053
„ Juliusschacht	3,09	72,01	4,09	*	10,57	0,16	10,08	6618
Anthracite.								
Piesberg bei Osnabrück, Hasestollen, weiche[1])	3,87	86,92	1,83	2,08	1,66		3,73	7539
„ „ „ „ harte[1])	3,44	84,95	1,90	3,72	0,59		5,40	7484
„ „ „ „ Förderkohle[1])	3,45	71,65	1,56	6,09	0,93		16,32	6353
Wales (England), Timber-Flötz[1])	—	93,00	3,08	0,68	1,67	0,54	1,03	8382
Verschiedene Hölzer (völlig trocken), auch Torf.								
Eichenholz	—	50,16	6,02	—	43,45	*	0,37	4184
Buchenholz	—	49,06	6,11	—	44,17	0,09	0,57	4096
Eschenholz	—	49,18	6,27	—	43,98	*	0,57	4159
Birkenholz	—	48,88	6,06	—	44,67	0,10	0,29	4050
Tannenholz	—	50,36	5,92	—	43,39	0,05	0,28	4174
Fichtenholz	—	50,31	6,20	—	43,08	0,04	0,37	4261
Torf	21,06	44,29	4,57	—	29,20	*	0,88	3728

Tabelle XI. (Fortsetzung.)

Bezeichnung.	Prozentische Zusammensetzung:					Kalorieen
	C	H	O	N	H_2O	
Flüssige Brennstoffe.						
Amerik. Rohpetroleum	83,01	13,89	3,10	—	—	10557
Amerik. raff. Petroleum	85,49	14,22	0,29	—	—	10949
Kaukasisch. Petroleum	84,91	11,63	3,46	—	—	10042
Amerik. Petrol-Benzin	80,58	15,10	4,32	—	—	10670
Alkohol, absolut.	52,17	13,05	34,78	—	—	6697
Alkohol v. 90 % Tralles. . .	44,74	11,18	29,82	—	14,25	5829
Gasförmige Brennstoffe.						
Kohlenoxyd.	42,86	—	57,14	—	—	2403
Acetylen	92,31	7,69	—	—	—	9615
Leuchtgas **)	56,71	19,18	19,55	4,56	—	9391

**) Die hier verzeichnete prozentische Zusammensetzung ist aus nachfolgend mitgeteilter volumetrischer Analyse von Bunsen berechnet worden.

1 cbm Leuchtgas enthält:		Hieraus berechnet:	
Gasart	Liter	Gewicht in kg	Kalorieen
Aethylen	25,5	0,031 9204	360,48
Propylen	12,1	0,022 7200	253,44
Benzoldampf	13,3	0,046 3589	447,36
Wasserstoff	462,0	0,041 3860	1191,92
Methan	340,2	0,243 4097	2919,94
Kohlenoxyd	88,2	0,111 1181	267,02
Kohlensäure	30,1	0,059 1865	0,00
Stickstoff	21,5	0,026 9874	0,00
Sauerstoff	6,5	0,009 2520	0,00
Summa	1000,0	0,592 3822	5440,16
	oder:	1,000 =	9183,00

Man ersieht hieraus, dass die aus den Verbrennungswärmen der einzelnen Leuchtgasbestandteile durch Addition sich ergebende Gesamt-Verbrennungswärme mit dem aus der elementaren Zusammensetzung desselben mittelst der Verbandformel berechneten Heizwert trotz des hohen Sauerstoffgehaltes doch noch ziemlich gut, nämlich bis auf $2^1/_4$ %, übereinstimmt.

Anhang.

Verbesserungen und Nachträge.

Zu Seite 42 Absatz 2 Zeile 10: Hinter „bestimmtes Normalgewicht“ ist einzufügen: „für den einzubringenden Ätzkalk“.

Zu Seite 43 Absatz 2 Zeile 6: Hinter „bestimmtes Normalgewicht“ ist einzufügen: „für den einzubringenden Ätzkalk“.

Zu Seite 59 Absatz 2 Zeile 4: Statt „Zusammenstellung“ muss es heissen: „Zusammensetzung“.

Zu Seite 61 ist bei Figur 21 am Eingangsrohr in dass Gefäss d das Kniestück statt mit C, mit c zu bezeichnen.

Zu Seite 64 ist zwischen Absatz 1 und 2 folgender Zusatz einzufügen: „Die stetige Registrierung des Krellschen Rauchgas-Analysators geschieht dadurch, dass der jeweilige Stand des Mikromanometers mit Hülfe von Glühlicht und Spiegelblendung in eine kleine Registrier-Camera mit Uhrwerk und daselbst auf einen photographischen Papierstreifen geworfen wird. Der letztere wird in bekannter Weise nach geschehener zwölfstündiger Aufnahme des Mikromanometerstandes entwickelt, wozu der Gesammtapparat in einer Dunkelkammer von 1 mal 1,5 m Grundfläche und etwa 2,8 m Höhe aufgestellt wird.

Die mit diesem Apparat im mechanischen Laboratorium der Karlsruher Technischen Hochschule durch Prof. Bunte angestellte Prüfung hat eine sehr befriedigende Genauigkeit desselben für technische Zwecke ergeben. Der Preis dieses stetigen Analysators ist 600 Mk. bei G. A. Schultze in Berlin.

Der Apparat war auf der Dresdener Städte-Ausstellung mit ausgestellt, wovon der Verfasser leider keine Kenntnis hatte“.

Zu Seite 64 ist zu Figur 23 nachzutragen, dass bei derselben die Rohrverbindung über dem oberen Hahn mit dem Mikrometerende links fehlt, die zur Beseitigung jeglicher Zuglufteinwirkung auf den Stand der Messflüssigkeit nötig ist. Der Apparat dient zu zeitweise beliebiger Analysirung der Rauchgase; Preis 135 Mk.

Zu Seite 65 Absatz 3 Zeile 6: Nach „mit dem Luftpumpenstrang erreichen“ ist anzufügen „und ferner natürlich in jedem Laboratorium, dem eine Wasserluftpumpe zur Verfügung steht“.

Zu Seite 65 Absatz 4 Zeile 7 ist nach „Aachen“ anzufügen: „(ausser dem bereits erwähnten Krellschen Rauchgasanalysator)“.

Zu Seite 70 Absatz 1 Schlusszeile ist hinter „mit dem Rohr r_3“ einzufügen „(Figur 24)“.

Zu Seite 82 Absatz 1 vorletzte Zeile ist hinter „Widerstandshöhe N“ einzuschalten „, ausgedrückt in einer diesem Widerstand das Gleichgewicht haltenden Luftsäule von der Höhe N,“.

Zu Seite 91 Zeile 3 muss es statt „Kesselgase“ heissen „Rauchgase“.

Zu Seite 97 Zeile 1 ist der Wert „0,03 W. E“ durch „0,033 W. E“ zu ersetzen.

Zu Seite 103 Absatz 1 Zeile 2 muss es statt „wie ihrer specifischen Wärme entsprechen" heissen „wie ihren specifischen Wärmen entsprechen".

Zu Seite 108 Zeile 5 von unten ist für „(Seite 105)" zu lesen „(Seite 109)".

Zu Seite 112 zwischen Absatz 2 und 3 ist einzufügen: „Eine Näherungsformel für den Wärmeverlust im Schornstein hat Siegert für Steinkohlenfeuerung angegeben, die wir mit Einsetzung der oben eingeführten Bezeichnungen von w für den Wärmeverlust im Schornstein, t für die Temperatur der abziehenden Rauchgase, sowie von t_1 für die Temperatur der Aussenluft und von CO_2 für den Kohlensäuregehalt der Rauchgase, wie folgt erhalten:

$$w = 0,65 \frac{t - t_1}{CO_2}$$

Für das vorher (Seite 112) gegebene Berechnungsbeispiel erhalten wir bei $t_1 = 20^0$

$$w = 0,65 \frac{300 - 20}{11} = 16,5 \% \text{ oder } U = 83,5 \%$$

also gut mit dem ersterhaltenen Wert von U = 82,3 % übereinstimmend.

Zu Seite 112 Zeile 7 von unten ist zwischen „Brennprocesses" und „belanglos" einzuschalten „für ein und dieselbe Anlage".

Zu Seite 119 Zeile 6 ist für „bei Braunkohle" zu lesen „bei erdiger Braunkohle".

Zu Seite 120 ist an den Schluss der Anmerkung 1 „Z. d. V. d. D. Rübenz. Ind." anzufügen „1872, Bd. XXII S. 675".

Zu Seite 134 Absatz 2 Zeile 5 ist statt „einer geprüften" zu lesen „einer bereits kalorimetrisch geprüften".

Zu Seite 135 Zeile 14 ist in dem Bruch $\frac{1,7586}{3,055}$ der Nenner 3,055 durch 4,070 zu ersetzen.

Zu Seite 135 zwischen Zeile 9 und 10 von unten ist einzufügen: „Setzt man statt der für die Verbandformel vereinbarten Verbrennungswärme von 8100 W. E. für Kohlenstoff die neuere und genauere Zahl 8137 ein, so erhöht sich in dem Berechnungsbeispiel der Wasserwert des Kalorimeters von 0,432 W. E. auf 0,4385 W. E. und die Verbrennungswärme für 1 kg. lufttr. Kohle von 5852 W. E. auf 5877 W. E."

Zu Seite 136 Absatz 2 Zeile 1 muss es heissen: „Diese Korrektur erübrigt sich hier — weil bei Kohlen".

Zu Seite 138 Absatz 3 ist bezüglich der Kroecker'schen Bombe noch zu bemerken, dass dieselbe mit Kalorimeter von Jul. Peters, Berlin angefertigt wird; der Gesamtpreis ist ca. 400 Mk.

Zu Seite 139 Absatz 1 vorletzte Zeile muss es nach Salzsäure heissen: „wodurch zugleich der Schwefelgehalt der Kohle ermittelt wird".

Schlussbemerkung.

Der Verfasser bittet, die vielfachen Nachträge mit seiner andauernden Krankheit zu entschuldigen.

Druck von E. Baensch jun., Magdeburg.